



**PELASTUSOPISTO**



# **Palavien nesteiden säiliötarhan riskien- ja tulipalon hallinta**

CP Kelco Oy Äänekosken tehdas

Jari Rossi

19.1.2020

## TIIVISTELMÄ

<p>Tekijä</p> <p>Jari Rossi</p>	<p>Tutkinto</p> <p>Pelastusalan päällystötutkinto (AMK)</p>
<p>Julkaisun nimi</p> <p>Palavien nesteiden säiliötarhan riskien- ja tulipalon hallinta</p>	<p>Julkisuus</p> <p>Julkinen</p>
<p>Sivumäärä</p> <p>81 + 2</p>	<p>Päiväys</p> <p>19.1.2020</p>
<p>Opinnäytetyön ohjaaja(t)</p> <p>Ismo Kärkkäinen, vanhempi opettaja Ari Mustonen, vanhempi opettaja</p>	<p>Toimeksiantaja</p> <p>Jani Rosala, EHS &amp; S Manager CP Kelco Oy Äänekosken tehdas</p>
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin CP Kelco Oy:n Äänekosken tehtaan palavien nesteiden säiliötarhaan liittyviä riskejä. Äänekosken tehdas on maailman suurin karboksimeetyylisel-luloosaa eli CMC:tä valmistava tehdas. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia palavien nes-teiden laajamittaisen teollisen käsittelyn ja varastoinnin vaatimuksia ja velvoitteita. Toinen tavoite oli selvittää palavien nesteiden säiliötarhassa esiintyviä riskejä, joita etanoli- ja isopropanolivuodot ja mahdollinen tulipalo aiheuttavat sekä löytää kehitysehdotuksia ris-kien vähentämiseksi. Opinnäytetyön kolmas tavoite oli tuottaa toimintaohjekortit CP Kel-con työntekijöille ja pelastuslaitokselle palavien nesteiden säiliötarhan vuoto- ja tulipaloti-lanteisiin.</p> <p>Tutkimusmateriaalina käytettiin CP Kelco Oy:n omia dokumentteja, alan kirjallisuutta, Suomen säädöskokoelmaa, eri standardeja sekä Risto Lautkaskin haastattelua sähköpos-tilla. Tehtaan olemassa olevia järjestelmiä tutkittiin tehdaskäynneillä.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena esitettiin 11 kehitysehdotusta, joilla palavien nesteiden säiliötar-han turvallisuutta voidaan parantaa sekä vuotojen ja tulipalon riskiä pienentää. Toiminta-ohjekortteihin kuvattiin asioita, joita tehtaan ja pelastuslaitoksen tulisi ottaa huomioon, tuottaessaan lopullisia toimintaohjekortteja.</p>	
<p>Avainsanat</p> <p>Etanoli, isopropanoli, kemikaalit, palavat nesteet, vaahtosammutus, riskienhallinta, läm-pösäteily</p>	

## ABSTRACT

Author Jari Rossi	Degree Programme Fire Officer's Degree (UAS)
Title Identifying and Controlling Hazards with Flammable Liquids Tank Farm	Confidentiality Public
Pages 81 + 2	Date 19 th. January, 2020
Academic supervisor Mr. Ismo Kärkkäinen, Senior Instructor Mr. Ari Mustonen, Senior Instructor	Client Organisation/Partner Mr. Jani Rosala, EHS & S Manager CP Kelco Oy Äänekoski Plant
<p>Abstract</p> <p>This thesis studied possible risks considering the storage area of flammable liquid tanks at CP Kelco Oy plant in Äänekoski. The plant is the largest of its kind in the world and produces Carboxymethyl Cellulose. The main purpose of this thesis was to collect information on possible hazards and obligations while industrially handling and storing massive amounts of flammable liquids. Another purpose was to identify the risks occurring in the tanks farm area, considering Ethanol and Isopropyl Alcohol leakages and possible cases of fire, and to determine improvement suggestions, in order to minimise the risks. The third purpose was to create a set of Emergency Action Cards for the employees at CP Kelco and Rescue Department in case of a leakage or a fire in the storage area of flammable liquids.</p> <p>The research data were collected from CP Kelco's own documents, from professional literature, Statutes of Finland, different standards and an interview with Risto Lautkaski through Email. The existing systems at the plant were researched by visiting the locations.</p> <p>As the result of this thesis, there were introduced 11 improvement suggestions, which can increase the safety of the Flammable Liquid Tank Farm Area and lower the risk leakages and fire. For the Emergency Action Cards were described details the plant and Rescue Department should take into consideration while producing the final Emergency Action Cards.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Ethanol, Isopropyl Alcohol, Chemicals, Flammable Liquids, Foam Extinguishing, Risk Management, Heat Radiation</p>	

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO	6
2 CP KELCO OY	9
3 PALAVAT NESTEET	12
3.1 Kuvaus palavista nesteistä	12
3.2 Etanoli	13
3.3 Isopropanoli	16
3.4 Palavien nesteiden säilytys	18
3.5 Vakuutusyhtiön toiminta	23
3.6 Teollisen käsittelyn valvonta	24
4 PALAVIEN NESTEIDEN RISKIENHALLINTA	25
4.1 Riskikartoitus	26
4.2 Sisäinen pelastussuunnitelma	32
4.3 Sammutuslaitteisto	34
4.4 Turvallisuus- ja kemikaaliviraston ohjeet	40
4.5 Vuotojen hallitseminen	42
5 ALKOHOLIVUODON JA TULIPALON HALLINTA	43
5.1 Syttymättömän vuodon vaara-alue ja syttymisen estäminen	43
5.2 Säiliö- ja vallitilapalon vaikutukset	46
5.3 Alkoholipalon sammuttaminen vedellä	49
5.4 Alkoholipalon sammuttaminen vaahdolla	50

	5
5.5 Sammutusjätevesien hallinta	52
5.6 Sammutusjätevesien hallintaan soveltuvia välineitä ja menetelmiä	53
6 TOIMINTAOHJEKORTIT	57
6.1 Toiminnaharjoittajan toimintaohjekortti	58
6.2 Pelastuslaitoksen toimintaohjekortti	63
7 KEHITYSEHDOTUKSET	69
7.1 Säiliöt ja niiden merkinnät	70
7.2 Vuodon havaitseminen ja hallinta	71
7.3 Tulipalon vaikutusten hallinta	72
8 POHDINTA	75
LÄHTEET	78
LIITTEET	82

## 1 JOHDANTO

Euroopan parlamentin ja neuvoston Seveso III-direktiivissä on säädetty suuronnettomuusharjoitusten järjestämisestä laajamittaista kemikaalin käsittelyä ja varastointia harjoitavissa tuotantolaitoksissa. CP Kelco Oy:n Äänekosken tehdas on Turvallisuus- ja kemikaaliviraston valvoma tuotantolaitos.

Olin mukana suunnittelemassa ja toteuttamassa suuronnettomuusharjoitusta Äänekoskella, CP Kelcon tehtaalla vuonna 2018. Suuronnettomuusharjoituksen skenaario oli tulipalo palaviennesteiden säiliötarhassa. Säiliötarhan suurimman säiliön täyttöputki oli murtunut ja säiliön sisältö oli valunut vallitilaan. Säiliössä varastoitin isopropanolin ja etanolin seosta, jota käytetään CMC-tuotteen eli karboksimeetyliselluloosan valmistusprosessissa. Isopropanoli ja etanoli ovat alkoholeja ja jotka on luokiteltu palaviksi nesteiksi. Alkoholia oli valunut noin 490 m<sup>3</sup> vallitilaan, ja se oli syttynyt palamaan.

Suuronnettomuusharjoitusta edeltävinä viikkoina selvitin pelastuslaitoksen resurssi- ja kustotarpeen onnettomuusskenaarion torjumiseksi. Selvitin tulipalon aiheuttaman lämpösäteilyn, joka vaikeuttaa sammutustoimintaa sekä aiheuttaa viereisten säiliöiden kuumenemista ja laitteistojen rikkoutumista. Halusin myös todentaa konkreettisesti, miten tulipalon sammuttamiseen tarvittava vaahtopatja saadaan vallitilaan. Harjoittelin palomiesten ja sammutusmiesten kanssa vaahtotykkiä käyttäen ennen suuronnettomuusharjoituspäivää.

Suuronnettomuusharjoituksen aikana minulle selvisi onnettomuusskenaarion torjumisen mahdottomuus. Pelastuslaitoksella ei ollut käytössä sellaisia vaahdotusvälineitä, joilla tulipalo olisi saatu sammumaan. Säiliötarhassa ei ollut kiinteästi asennettuja vaahdotuslaitteistoja. Pelastuslaitos ei pystynyt suojaamaan viereisessä säiliötarhassa olevaa kloorivetyhappo- (suolahappo) säiliötä tulipalon lämpösäteilyn vaikutuksilta riittävän nopeasti. Suolahapposäiliö rikkoutui, ja suolahappo valui vallitilaan, josta kloorivety haihtuu muodostaen myrkyllisen kaasupilven. Kaasupilvi leviää tuulen mukana aiheuttaen vaaraa tuotantolaitoksen työntekijöille, pelastushenkilöstölle ja lähialueen asukkaille.

Harjoituksen jälkeen CP Kelco Oy teki päätöksen asennuttaa vaahtosammutuslaitteiston palavien nesteiden säiliötarhaan. Vahinkovakuutusyhtiö oli ehdottanut laitteiston asentamista ensimmäisen kerran yli 10 vuotta aikaisemmin.

Halusin jatkaa suuronnettomuusharjoituksessa ilmenneiden ongelmien tutkimustyötä, miten vallitilaan valuneen alkoholin vuotoja pystytään tunnistamaan nopeasti. Millä tavoin alkoholilammikko saadaan vaarattomaksi nopeasti ja mahdollisimman turvallisesti? Miten alkoholilammikon tulipalo havaitaan mahdollisimman nopeasti? Mistä määräytyvät suunnittelu- perusteet vaahtosammutuslaitteistolle? Kuinka nopeasti tulipalo pitäisi saada sammumaan, jotta se ei aiheuttaisi laitteistojen ja säiliöiden rikkoutumisia?

Tämä opinnäytetyö on tutkimus, miten CP Kelcon Oy:n Äänekosken tehtaan palavien nesteiden säiliötarhan kokonaisturvallisuus saadaan paremmaksi. Palavien nesteiden säiliötarhan riskien hallinta on osa tuotantolaitoksen kokonaisturvallisuutta. Kokonaisturvallisuuteen sisältyvät riskien ymmärtäminen, havaitseminen ja dokumentointi, säädösten mukainen laitteistojen suunnittelu ja rakentaminen parhaalla mahdollisella tekniikalla sekä työntekijöiden koulutus laitteistojen käyttöön normaali-, häiriö- ja onnettomuustilanteissa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia palavien nesteiden laajamittaisen teollisen käsittelyn ja varastoinnin vaatimuksia ja velvoitteita. Tutkimus keskittyy etanolin ja isopropanolin varastointiin, vuototilanteisiin ja tulipaloihin CP Kelcon Oy:n Äänekosken tehtaan säiliötarhassa. Tässä työssä ei tutkita muiden hiilivetyjen kuten moottoribensiinin tai polttoöljyn varastointiin ja riskienhallintaan liittyä asioita. Opinnäytetyön toinen tavoite on selvittää palavien nesteiden säiliötarhassa esiintyviä riskejä, joita etanoli- ja isopropanolivuodot ja mahdollinen tulipalo aiheuttavat, sekä löytää kehitysehdotuksia riskien vähentämiseksi. Opinnäytetyön kolmas tavoite on tuottaa toimintaohjekortit CP Kelcon työntekijöille ja pelastuslaitokselle. Toimintaohjekortteja voidaan käyttää johtamisen tukena palavien nesteiden säiliötarhassa sattuneissa vuoto- ja tulipalotilanteissa.

Tutkimusaineistona käytin CP Kelcolta saamiani dokumentteja ja lukuisilla tehdaskäynneilläni tekemiäni havaintoja sekä alan kirjallisuutta. Sain myös arvokasta tietoa sähköpostiviesteillä Risto Lautkaskilta. Hän on kirjoittanut alan kirjallisuutta sekä toiminut tutkijana Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:llä.

Opinnäytetyön kappaleessa 2 on yleiskuvaus CP Kelco Oy:n Äänekosken tehtaasta ja siitä, mitä tuotteita siellä valmistetaan. Kappaleessa kerrotaan, mihin etanolia ja isopropanolia käytetään tuotantoprosessin aikana.

Kappaleessa 3 on selvitetty palavien nesteiden säädösperustaa sekä sitä, miten palavat nesteet luokitellaan. Kappaleeseen on kirjoitettu etanolin ja isopropanolin fysikaalis-kemikaalisia ominaisuuksia. Näitä ominaisuuksia käytetään näiden kemikaalien aiheuttaman vaaran

ja riskien arvioinnissa. Palavien nesteiden säilytykseen ja varastointiin liittyviä velvoitteita ja säädöksiä on kirjoitettu yhtenä tämän kappaleen aiheena. Kappaleen 3 lopussa on lyhyesti kuvaus vakuutusyhtiöiden toiminnasta, palavien nesteiden säilytyksen valvontaan liittyen. Vaarallisten aineiden ja kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin valvonnan vastuista on kirjoitettu kappaleen 3 lopuksi.

Kappale 4 käsittelee palavien nesteiden säiliötarhan riskien hallintaa: Miten Äänekosken tehtaan säiliötarhan riskejä on kartoitettu ja tunnistettu? Miten säiliötarhassa syttynyt tulipalon lämpösäteily vaikuttaa työntekijöiden poistumisturvallisuuteen rakennuksista? Miten säiliötarhan paloturvallisuutta on pyritty parantamaan?

Kappaleessa 4 on kirjoitettu vaahtosammutuslaitteiston suunnitteluun vaikuttavista säädöksistä. Mitkä lakipykälät, asetukset, standardit ja ohjeet vaikuttavat laitteistojen suunnitteluun? Minkälaisia ohjeita Turvallisuus- ja kemikaalivirasto on antanut kemikaalien teolliseen käyttöön ja varastointiin liittyen? Kappaleen lopussa on tuotantolaitosta velvoittavat säädökset kemikaalivuotojen hallitsemiseksi.

Kappaleessa 5 on kirjoitettu isopropanoli- ja etanolivuotojen vaara-alueesta sekä siitä, miten vallitilaan valuneen alkoholin syttyminen voidaan estää. Alkoholin syttyminen vallitilassa on yksi Äänekosken tehtaan suuronnettomuusskenaario, jonka lämpösäteilyn vaikutuksia on arvioitu tietolähteistä saadun tiedon avulla. Veden ja vaahdon vaikutuksista alkoholinestepalon sammuttamisessa on kerrottu omissa alaluvuissa. Kappaleen 4 lopuksi on tutkittu, miten sammutusvaahdon pääsyä sadevesiviemäriin ja vesistöön voitaisiin estää tulevaisuudessa paremmin.

Kappale 6 käsittelee toimintaohjekortteihin tarvittavia tietoja: Mitkä asiat ovat tärkeitä alkoholivuotojen ja tulipalojen hallintaan saamiseksi? Missä järjestyksessä eri toimintoja pitää tehdä, jotta lisävahinkoja muodostuisi mahdollisimman vähän henkilöturvallisuutta vaarantamatta?

Kappaleessa 7 olen kirjoittanut opinnäytetyön aikana tekemiäni havaintojen perusteella kehitysehdotuksia. Kehitysehdotusten tarkoitus on tuoda esille asioita, joilla Äänekosken palavien nesteiden säiliötarhan turvallisuustasoa saataisiin paremmaksi.

Kappaleessa 8 olen pohtinut, miten suoriuduin tämän työn tekemisestä, millaisia haasteita tekemisessä oli ja miten työlle asetetut tavoitteet ovat täyttyneet.



## 2 CP KELCO OY

CP Kelco Oy kuuluu J.M Huber konserniin. J.M Huber perheyhtiö on perustettu 1883, ja se on edelleen USA:n yksi isoimmista yksityisomistuksessa olevista yhtiöistä. Huber-konserniin kuuluvat muut yhtiöt ovat Huber Engineered Woods, Huber Resources ja Huber Engineered Materials. Huber toimii globaalisti yli kahdessakymmenessä eri maassa, ja se työllistää noin 4000 työntekijää. (Tehdasesitys 2018.)

CP Kelcon Äänekosken tehtaan historia alkaa vuodesta 1944, jolloin Wärtsilä selluloosa aloittaa CMC tuotannon Äänekoskella, kaupungin etelälaidalla (Tehdasesitys 2018). Nykyään tehdas työllistää noin 230 henkilöä. (SPS 2015.)

CP Kelcolla on kahdeksan tuotantoyksikköä ympäri maailmaa. Muut tuotantoyksiköt valmistavat myös tuotteita, joissa hyödynnetään luontopohjaista kemialla. CP Kelco on polysakkaridien johtava globaali tuottaja. (Tehdasesitys 2018.)

Äänekosken tehdas on maailman suurin CMC-tehdas. Tuotantolinjoja on kolme, joista yksi valmistaa elintarvikelaatua, yksi puhdasta laatua ja yksi teknistä laatua teollisuuden tarpeisiin. Tehtaalla on kaksi tislamoita, joissa regeneroidaan likainen alkoholi takaisin prosessiin. Tekniset laadut sisältävät tuotantoprosessissa sivutuotteina syntyviä suoloja mutta puhtaista ja elintarvikelaaduista sivutuotteet ovat pesty pois. CMC:tä eli karboksimeetylliselluloosaa käyttää muiden muassa kaivos-, keramiikka-, tekstiili-, erikoispaperi-, öljynporaus-, pesuaine-, juoma-, hammastahna- ja leipomoteollisuus. (SPS 2015.)

Elintarviketeollisuudessa CMC:tä käytetään esimerkiksi proteiinien stabiloinnissa happamissa maitojuomissa. CMC estää myös faasiutumista juomatiivisteissä. Leipomotuotteissa se pidentää tuotteiden käyttöikää sitomalla kosteutta. Pakastetuissa ruokatuotteissa CMC hidastaa jääkiteiden muodostumista. Öljynporauseteollisuus käyttää CMC:tä, koska se minimoi nesteen imeytymistä maaperään ja jäähdyttää ja voitelee poraustäätä. Pesuaineteollisuus hyödyntää CMC:tä, koska se estää lian uudelleen tarttumista kankaaseen. (Tehdasesitys 2018.)

CMC on valkoista tai vaaleaa pulveria, jota valmistetaan puuselluloosasta tai puuvillalintteristä. Tuote on terveydelle vaaraton, hajuton, myrkytön ja luonnossa hajoava (SPS 2015).

CMC:n valmistus on monivaiheinen prosessi. Prosessin päävaiheet ovat seuraavat: selluloosan jauhatus, alkalisointi ja reaktio, pesu, liuottimen poisto, kuivatus, seulonta ja jauhatus sekä pakkaus. Valmistuksen raaka-aineina käytetään selluloosaa, monokloorietikkahappoa, natriumhydroksidia ja suolahappoa. (Tehdasesitys 2018.)

Etanoli (EtOH) ja isopropanoli (IPA) toimivat tuotantoprosessissa väliaineena eli liuottimina. Alkoholeja käytetään apuaineina tuotantoprosessissa, koska lopputuote eli CMC on vesiliukoinen. Alkoholeja käytetään myös prosessin loppuvaiheessa pesuaineena, jotta lopputuotteesta saadaan pois glykolaatti ja suola. Liuottimet otetaan talteen tehtaan tislauksessa, joten valmiissa tuotteessa (CMC) niitä ei enää ole. Liuottimet kierrätetään takaisin varastosäiliöihin, joista ne saadaan uudestaan prosessiin. Isopropanolia ja etanolia kierrätetään siis suljetussa kierrossa. Liuottimen likaantuminen ja haihtuminen prosessissa ja varastosäiliöissä aiheuttaa tarpeen täydentää varastosäiliöitä uudella ja puhtaalla etanolilla ja isopropanolilla. Vuositasolla näiden kahden palavan nesteen kulutus on noin 800 tonnia eli noin 1000 m<sup>3</sup>. (SPS 2015).

Kuvassa 1 on CP Kelco Oy:n Äänekosken tehdas. Kuvassa näkyy myös Metsä Fibren biotuotetehdas taka-alalla. Palavien nesteiden säiliötarha sijaitsee sen rakennuksen takana, jonka seinässä ovat kirjaimet ”CP Kelco”.



Kuva 1. CP Kelco Oy:n tehdas (Tehdasesitys 2018).

Kuvassa 2 on CP Kelco Oy:n Äänekosken tehtaan palavien nesteiden säiliötarha. Kuvassa olevissa kolmessa sileäpintaaisessa säiliössä on vesivalelu kytkettynä päälle. Kuvassa oikealla olevan säiliön tilavuus on noin 490 m<sup>3</sup>.



Kuva 2. CP Kelco Oy:n palavien nesteiden säiliötarha Äänekosken tehtaalla.

### 3 PALAVAT NESTEET

#### 3.1 Kuvaus palavista nesteistä

Palava neste on nestemäistä kemikaalia, jonka leimahduspiste on enintään 100 °C (Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden turvallisuudesta 390/2005).

Nesteellä tarkoitetaan ainetta tai seosta, jonka höyrynpaine 50 °C:n lämpötilassa on korkeintaan 300 kPa (3 baaria). Aine tai seos ei ole täysin kaasumainen 20 °C:n lämpötilassa ja 101,3 kPa:n vakiopaineessa. Lisäksi sen sulamispiste tai sulamisen alkamispiste 101,3 kPa:n vakiopaineessa on 20 °C tai vähemmän. (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 685/2015.)

EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON ASETUS (EY) N:o 1272/2008 tunnetaan myös CLP-asetuksena (Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures). CLP-asetus määrittelee aineiden ja seosten luokittelun, merkinnät ja pakkaamisen. Asetus jakaa syttyvät nesteet kolmeen kategoriaan (1, 2 ja 3):

1. Leimahduspiste on  $< 23\text{ °C}$  ja kiehumisen alkamislämpötila  $\leq 35\text{ °C}$
2. Leimahduspiste on  $< 23\text{ °C}$  ja kiehumisen alkamislämpötila  $> 35\text{ °C}$
3. Leimahduspiste on  $\geq 23\text{ °C}$  ja  $\leq 60\text{ °C}$ .

(Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1272/2008.)

Nesteen leimahduspisteen lämpötilaksi määritellään se lämpötila, jossa nesteestä haihtuu höyryjä ja ne pystyvät syttymään sekoittuessaan ilman kanssa. Nesteen lämpötilaa nostetaan, kunnes höyryjen ja ilman seos on syttymiskelpoinen. Tämä voidaan todeta kipinän tai pistoliekin avulla. Kaasuilmaseos syttyy ja palaa koko nestepinnan yli. Alin lämpötila, jossa syttyminen tapahtuu, on leimahduspiste. Kun syttymislähde poistetaan, ei palamista enää tapahdu. (Andsten 2001, 13.)

Leimahduspisteen lämpötilaksi saadaan hieman toisistaan poikkeavia lukuja, koska määrittämenetelmiä on useita. Yksi määrittämenetelmä on niin sanottu suljetun upokkaan menetelmä. Nesteen leimahduspiste on määritelty aina normaalissa ilmanpaineessa. (OVA-ohje, käyttäjän opas.)

Palavien nesteiden käsittelyyn, varastointiin ja vuotoihin liittyvää syttymisvaaraa arvioidaan leimahduspisteen avulla. Nesteessä olevat epäpuhtaudet vaikuttavat leimahduspisteeseen. Epäpuhtauksien koostumuksen mukaan ne joko nostavat tai laskevat leimahduslämpötilaa.

*Jos nesteen lämpötila on noin 10 °C aineen leimahduspisteen alapuolella, vuodosta ei yleensä aiheudu syttymisvaaraa (OVA ohje, käyttäjän opas).*

Kohottamalla nesteen lämpötilaa pisteeseen, jossa sen molekyylien väliset sidokset alkavat katkeamaan, ollaan nesteen kiehumispisteessä. Nesteen sisällä ja pinnalla alkaa muodostua höyryä, jonka paine on yhtä suuri kuin nestettä ympäröivän ympäristön paine on. (Lämpöoppi 2020.)

Palavat nesteet alkavat höyrystymään, kun niiden lämpötilaa nostetaan. Höyryä muodostumisen nopeus kasvaa lämpötilan kohotessa. Palavan nesteen höyry on aina painavampaa kuin ilma, ja se sekoittuu hyvin ilman kanssa. Höyryt ovat näkymättömiä ja painuvat helposti maan pinnalla oleviin painanteisiin ja kuoppiin. Höyry-ilmaseos voi syttyä palamaan tai räjähtää saadessaan jostain kipinän. (DSV 2020.)

Nesteen kiehuessa, höyryä muodostuu nesteen sisällä ja pinnalla. Pelkästään nesteen pinnalta tapahtuva höyrystyminen tarkoittaa samaa asiaa kuin haihtuminen.

Itsesyttymislämpötilassa palavan nesteen höyry syttyy myös ilman kipinää tai liekkiä. Tällöin höyryjen lämpötila on huomattavasti korkeampi kuin leimahduspiste. Esimerkiksi bensiinin itsesyttymislämpötila on +300 °C ja sen leimahduspiste on -40 °C. (DSV 2020.)

### 3.2 Etanoli

*Etanoli on väritön kirkas haihtuva neste, jolla on makea, eteerinen, viinamainen haju. Denaturoidulla etanolilla voi olla epämiellyttävä haju (OVA-ohje etanoli).*

Etanoli eli etyylialkoholin leimahduspiste on 13°C. Tämä tarkoittaa sitä, että nesteestä haihtuu syttymiskelpoisia höyryjä yli 13°C:n lämpötilassa. Se on luokiteltu helposti syttyväksi nesteeksi, koska sen leimahduspiste on alempi kuin 21 °C. (OVA ohje, käyttäjän opas.)

Leimahduspisteen ja kiehumispisteen perusteella etanoli kuuluu kategoria 2. luokkaan. (CLP-asetus): leimahduspiste on < 23 °C ja kiehumisen alkamislämpötila > 35 °C.

CLP-asetuksen vaaraluokituksen mukaan syttyvä neste, joka on ominaisuuksiltaan kategoria 2. luokaan kuuluva, merkitään vaaralausekkeella *H225 Helposti syttyvä neste ja höyry* (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1272/2008, taulukko 2.6.2).

Etanoli on hygroskooppista, eli se imee itseensä kosteutta ilmasta (*OVA-ohje etanoli*). Ulkoilmaan avoimessa etanolisäiliössä on siis aina alle 100 tilavuus-% sisältävää alkoholia. Puhdasta etanolia voidaan valmistaa tislamalla. Etanolia käytetään esimerkiksi nautintoaineena, puhdistusaineena ja liottimena.

Taulukossa 1 on Työterveyslaitoksen toteuttaman hankkeen onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet - turvallisuusohjeet (OVA-ohjeet) sisältöä. OVA-ohjeita käyttävät esimerkiksi pelastushenkilöstö torjuessaan kemikaalionnettomuutta.

Taulukko 1. Etanolin fysikaaliskemiallisia ominaisuuksia (OVA-ohje, etanoli).

Molekyylikaava	$C_2H_6O$
Rakennekaava	$CH_3CH_2OH$
Molekyyli massa	46,1 g/mol
Tiheys	0,8 (vesi = 1) 20 °C:ssa
Sulamispiste	-117 °C
Leimahduspiste:	13 °C
Kiehumispiste	78,5 °C
Syttymisrajat:	3,3 - 19 %
Itsesyttymislämpötila:	363 °C
Höyrynpaine	5,8 kPa 20 °C:ssa
Höyryn tiheys	1,6 (ilma = 1)
Liukoisuus	liukenee veteen, eettereihin, ketoneihin, hiilivetyihin, happoihin, estereihin, glykoleihin, muihin alkoholeihin ja useisiin muihin orgaanisiin liuottimiin
Tasapainotilakonsentraatio	5,8 % (58 000 ppm) 20 °C:ssa; helposti haihtuva
Jakautumiskerroin P (n-oktanoli/vesi)	log Pow = -0,32; ei rasvahakuinen
Henryn lain vakio	$5 \cdot 10^{-6}$ atm m <sup>3</sup> /mol
Muuntokertoimet (höyry) 20°C:ssa	1 ppm = 1,92 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,522 ppm
Hajukynnys	50 - 700 ppm (96 - 1344 mg/m <sup>3</sup> ) (geometrisen keskiarvo 180 ppm)

### 3.3 Isopropanoli

*Isopropanoli on väritön, kirkas neste, jolla on alkoholeille tyypillinen haju. Sitä käytetään esimerkiksi pesunesteenä ja liuottimena. Sitä voidaan käyttää myös desinfiointiaineissa ja jäänestoaineissa. (OVA-ohje isopropanoli.)*

Isopropanolin eli isopropyylialkoholin leimahduspiste on 12°C. Tämä tarkoittaa sitä, että nesteestä haihtuu syttymiskelpoisia höyryjä yli 12 °C:n lämpötilassa. Se on luokiteltu helposti syttyväksi nesteeksi, koska sen leimahduspiste on alempi kuin 21°C (OVA ohje, käyttäjän opas).

Leimahduspisteen ja kiehumispisteen perusteella etanoli kuuluu kategoria 2. luokkaan: leimahduspiste on < 23 °C ja kiehumisen alkamislämpötila > 35 °C. CLP-asetuksen vaaraluokituksen mukaan syttyvä neste, joka on ominaisuuksiltaan kategoria 2. luokkaan kuuluva, merkitään vaaralausekkeella *H225 Helposti syttyvä neste ja höyry* (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1272/2008, taulukko 2.6.2).

Taulukossa 2 on Työterveyslaitoksen toteuttaman hankkeen onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet - turvallisuusohjeet (OVA-ohjeet) sisältöä. OVA-ohjeita käyttävät esimerkiksi pelastushenkilöstö torjuessaan kemikaalionnettomuutta.



Taulukko 2. Isopropanolin yleisiä fysikaaliskemiallisia ominaisuuksia (OVA-ohje, isopropanoli).

Molekyyli massa	60,1
Tiheys	0,79 (vesi = 1) 20 ° C:ssa
Sulamispiste	- 89 ° C
Leimahduspiste:	12 ° C
Kiehumispiste	82 ° C
Syttymisrajat:	2,1 - 13,5 %
Itsesyttymislämpötila:	399 ° C
Höyrynpaine	4,4 kPa (33 mmHg) 20 ° C:ssa
Höyryn tiheys	2,1 (ilma = 1)
Tasapainotilakonsentraatio	4,4 % (44 000 ppm) 20 ° C:ssa; helposti haihtuva
Liukoisuus	liukenee veteen, alkoholeihin, asetoniin, dietyylieeteriin, kloroformiin ja useisiin muihin orgaanisiin liuottimiin
Jakautumiskerroin P (n-oktanoli/vesi)	log Pow = 0,05 - 0,28; ei rasvakuinen
Henryn lain vakio	$1 \cdot 10^{-5}$ atm m <sup>3</sup> /mol; haihtuu helposti vedestä
Muuntokertoimet (höyry) 20 °C:ssa	1 ppm = 2,50 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,40 ppm
Hajukynnys	3,3 - 200 ppm (8,3 - 500 mg/m <sup>3</sup> ); haju varoittaa terveysvaarasta

### 3.4 Palavien nesteiden säilytys

Palavien nesteiden säilytystä tuotantolaitoksissa on säädetty Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005. Lain tarkoituksena on ehkäistä ja torjua henkilö-, omaisuus- ja ympäristövahinkoja, Lakia sovelletaan vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn, varastoinnin, siirron ja säilytyksen turvallisuusvaatimuksia. Kemikaaleilla tässä laissa tarkoitetaan aineita ja seoksia, kuten ne ovat REACH- ja CLP-asetuksissa määritelty. Palavilla nesteillä tarkoitetaan kemikaalia, jonka leimahduspiste on enintään 100 °C (Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005, 6 §).

Valtioneuvoston asetusta vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 685/2015 sovelletaan vaarallisten kemikaalien teollisen varastointiin, säilytykseen ja käsittelyyn liittyvät lupa-, ilmoitus- ja hallintomenettelyissä. Asetuksen 4 § määrittelee kemikaalien laajamittaisen teollisen käsittelyn ja varastoinnin kriteerit. 4 § 1 momentin ensimmäisessä kohdassa viitataan asetuksen liitteen 1, osan 1 taulukon sarakkeeseen 2. Taulukossa on syttyvien (palavien) nesteiden kohdalla eri kategorioihin kuuluville kemikaaleille vähimmäismäärä, joka määrittää, onko tuotantolaitoksen toiminta laajamittaista vaarallisten aineiden käsittelyä. (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 685/2015.)

Taulukossa 3 on kategoria 2. luokkaan kuuluvien aineiden vähimmäismäärät, joiden mukaan toiminnanharjoittajalle määräytyvät velvoitteet kemikaalien teollisen varastointiin, säilytykseen ja käsittelyyn liittyvät lupa-, ilmoitus- ja hallintomenettelyissä. CLP-asetuksen mukaan etanoli ja isopropanoli kuuluvat kategoria 2. luokkaan.

Taulukko 3. Etanolin ja isopropanolin ilmoitus- ja lupa-, toimintaperiaateasiakirja- ja turvallisuus selvitys menettelyn vähimmäismäärät (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 685/2015).

**Kemikaalin luokitukseen perustuvat vähimmäismäärät (Q)**

Kemikaaliluokat/CLP-asetuksen mukaiset vaarakategoriat	Sarake 1 Ilmoitus tonnia	Sarake 2 Lupa tonnia	Sarake 3 Toimintaperiaateasiakirja tonnia	Sarake 4 Turvallisuus selvitys tonnia
P5c Syttyvät nesteet - syttyvät nesteet, kategoria 2 tai 3, jotka eivät kuulu kategorioihin P5a tai P5b	1	100	5 000	50 000

Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012 säätää laissa (390/2005) tarkoitettujen vaarallisten kemikaalien turvallisuusvaatimuksista teollisessa varastoinnissa, säilytyksessä ja käsittelyssä.

Asetuksen 5 § onnettomuusvaaran huomioon ottaminen tuotantolaitoksen sijoituksessa velvoittaa ottamaan huomioon onnettomuustilanteet, joissa tuotantolaitoksessa tai onnettomuudessa olevat kemikaalit voivat olla osallisina. Tällaisia onnettomuustilanteita voivat olla esimerkiksi tulipalo tuotantolaitoksen alueella tai räjähdys tuotantolaitoksen alueella. Kemikaalien pääsy tuotantoalueen ulkopuolelle tulipalon tai laiterikon seurauksena on myös huomioitava tuotantolaitoksen sijoittelussa. (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012.)

Asetuksen 21 § mukaan rakennusten, laitteistojen ja rakenteiden sijoittelussa pitää ottaa huomioon 5 §:ssä tarkoitettujen onnettomuuksien vaikutukset. Tavoitteena on, ettei onnettomuuksista aiheutuisi ihmisille lämpösäteilyvaaraa, joka estäisi henkilökunnan pelastautumisen vaara-alueen ulkopuolelle. Lisäksi tavoitteena on myös estää sellaiset tulipalon vaikutukset rakenteisiin ja laitteistoihin, jotka voisivat estää tuotannon hallitun alasajon onnettomuustilanteessa. (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012.)

Valtioneuvoston päätöksessä vaarallisia aineita sisältävistä säiliöistä ja niiden merkinnöistä 421/1989 määrätään Työturvallisuuslain 299/1958, 33 §:ssä tarkoitettujen vaarallisia aineita

sisältävien säiliöiden rakenteista ja merkinnöistä. Ajantasaisessa Työturvallisuuslain 738/2002, 38 §:ssä on kirjoitettu, että valtioneuvoston asetuksella voidaan antaa tarkempia säännöksiä vaarallisten aineiden käsittelystä, siirtämisestä ja säilyttämisestä.

Valtioneuvoston päätöksen vaarallisia aineita sisältävistä säiliöistä ja niiden merkinnöistä 7 §:n mukaan vaarallisen aineen säiliöön tai sen välittömään läheisyyteen on merkittävä vaarallisen aineen nimi ja varoitusmerkki. Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsitteilyn turvallisuudesta 390/2005, 13 § velvoittaa varustamaan laitteistot ja laitteet turvallisen käytön edellyttämällä varoitus- ja turvamerkinnöillä. Samassa lain pykälässä on maininta myös onnettomuustilanteiden varautumiseen tarvittavien merkintöjen varustamisella laitteistoihin ja säiliöihin. Tämä tarkoittaa, että palontorjunnan kannalta tärkeät kohteet kuten säiliöt merkitään opastus- ja varoitusmerkein (SFS 3357 2017, 8).

Säiliöiden merkinnät tulisi tehdä Suomen Standardisoimisliiton (SFS) standardin 5491 mukaisesti (Valtioneuvoston päätös vaarallisia aineita sisältävistä säiliöistä ja niiden merkinnöistä 421/1989). Merkintä tarkoittaa, että vaarallisen aineen tai kemikaalin nimi on ilmoitettu yleisesti tunnetulla triviaalinimellä tai systemaattisella tieteellisellä nimellä. Triviaalinimi tarkoittaa aineen yleiskielistä nimeä, esimerkiksi sprii jonka systemaattinen tieteellinen nimi on etanoli tai etyylialkoholi. Vaarallisen aineen tai kemikaalin nimen lisäksi säiliössä pitää olla aineen vaarallisuutta kuvaava varoitusmerkki. Varoitusmerkkejä voi olla useita, jos aineella on useita vaaraa aiheuttavia ominaisuuksia. Säiliön merkintää voidaan täydentää kemikaalin väkevyytiedolla. (SFS 5491 2012.)

Samassa säiliössä voi olla useita vaarallisia kemikaaleja, jolloin merkintään voidaan käyttää aineiden ryhmänimeä, esimerkiksi alkoholeja (SFS 5491 2012). Säiliöiden merkinnät pitää sijoittaa siten, että ne ovat helposti havaittavissa (SFS 3353 2019).

Varoitus- ja turvamerkinnot on esitetty CLP-asetuksessa (EY) N:o 1272/2008. Asetusta sovelletaan kemikaalien merkitsemisessä 1.12.2010 alkaen. Kemikaalien seoksille CLP-asetusta sovelletaan 1.6.2015 alkaen. (SFS 5491 2012.)

Merkintöjen koko määräytyy säiliön tilavuuden mukaan. Taulukossa 4 on Standardissa SFS 5491 määritelty kirjainkoot ja varoitusmerkkien koot säiliön tilavuuden mukaan.

Taulukko 4. Säiliön merkintäkoko (SFS 5491, 2012).

Säiliön tilavuus m <sup>3</sup>	Kemikaalin nimen kirjainkoko cm	Varoitusmerkki cm
$1 \leq V < 15$	5	10
$15 \leq V < 50$	10	10
$50 \leq V$	15	25

Taulukossa 5 on CLP-asetuksen velvoittava varoitusmerkki syttyville nesteille, joiden vaarakategoria on 1, 2 tai 3. Tämä liekkiä kuvaavan merkin kirjaintunnus on GHS02. Taulukon kolmannessa sarakkeessa on kohta ”2.6 Syttyvät nesteet” ja sarakkeessa neljä ”Vaarakategoria 1, 2, 3”. Etanoli ja isopropanoli kuuluvat vaarakategoria 2-luokkaan.

Taulukko 5. CLP-asetuksen mukainen merkki syttyville nesteille (SFS 5491. 2012).

	Liekki GHS02	2.2 Syttyvät kaasut	Vaarakategoria 1
		2.3 Syttyvät aerosolit	Vaarakategoriat 1, 2
		2.6 Syttyvät nesteet	Vaarakategoriat 1, 2, 3
		2.7 Syttyvät kiinteät aineet	Vaarakategoriat 1, 2
		2.8 Itseaktiiviset aineet ja seokset	Tyypit B, C, D, E, F
		2.9 Pyroforiset nesteet	Vaarakategoria 1
		2.10 Pyroforiset kiinteät aineet	Vaarakategoria 1
		2.11 Itsestään kuumenevat aineet ja seokset	Vaarakategoriat 1, 2
		2.12 Aineet ja seokset, jotka veden kanssa kosketuksiin joutuessaan kehittävät syttyviä kaasuja	Vaarakategoriat 1, 2, 3
		2.15 Orgaaniset peroksidit	Tyypit B, C, D, E, F

Kuvassa 3 on CP Kelco Oy:n Äänekosken tehtaan palavien nesteiden säiliötarhan säiliön merkintä. Kyltissä oleva merkintä ”LIKAINEN EtoH 60 %” tarkoittaa, että säiliössä varastoidaan nestettä, jonka etanolipitoisuus on 60 tilavuus prosenttia. Neste sisältää myös tuotantoprosessista kertyneitä epäpuhtauksia. Säiliön tilavuus on 258 m<sup>3</sup>. 71B604 on tehtaan määrittelemä säiliön tunnusnumero. Kärjelleen asetetun neliön sisällä oleva liekin kuva on CLP-asetuksen mukainen GHS02-merkki.



Kuva 3. CP Kelco Oy:n säiliömerkintä likainen EtOH 60 % (etanoli) ja GHS02-merkki.

Kuvassa 4 on CP Kelco Oy:n Äänekosken tehtaan palavien nesteiden säiliötarhan säiliön merkintä. Säiliössä varastoidaan isopropanolin ja etanolin seosta, jota on käytetty tuotantoprosessin reaktiovaiheessa. Säiliön tilavuus on 491 m<sup>3</sup>. Säiliön tunnusnumero on 71B608. Kärjelleen asetetun neliön sisällä oleva liekin kuva on CLP-asetuksen mukainen GHS02-merkki.



Kuva 4. CP Kelco Oy:n säiliömerkintä likainen reaktoriliuotin IPA/EtOH (isopropanoli/etanoli) ja GHS02-merkki.

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös palavista nesteistä 313/1985 määrittelee luvussa 6 kiinteän säiliön varusteet. Päätöksen 54 §:ssä on määritelty, että kiinteässä palavien nesteiden säiliössä ilmaputken suuaukko tulee olla yli 2,5 metrin korkeudella pinnasta. Ilmaputken suuaukosta purkautuvat palavan nesteen höyryt sekoittuvat ilmaan ja aiheuttavat siten mahdollisimman vähän vaaraa.

Säiliön avoimen ilmaputken suuaukko on varustettava suojaverkolla, jonka materiaali on ruostumaton tai korroosiosuojattu teräs. Suojaverkon langan koko pitää olla vähintään 0,6 millimetriä ja siinä pitää olla 2 - 4 ruutua neliösenttimetrillä. Suojaverkon vapaan pinta-alan pitää olla säiliön ilmaputken vaaditun pinta-alan suuruinen. (Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös palavista nesteistä 313/1985, 54 §.)

Palavien nesteiden säiliö voi olla varustettuna myös yli- ja alipaineventtiilillä tai liekinestimellä. Liekinestimenä katsotaan toimivan verkko, jonka langan paksuus on vähintään 0,37 millimetriä ja verkon vapaan ruudun koko ei ylitä 0,3 neliömillimetriä. Liekinestimenä toimivan verkon ruutujen vapaapinta-ala pitää ylittää ilmaputken vaadittu minimi läpimitta. (Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös palavista nesteistä 313/1985, 54 §.)

Säiliö, jonka tilavuus on yli 10 kuutiometriä ja siinä varastoidaan 1 luokan palavia nesteitä tai 2 luokan palavaa nestettä, on ilmaputken suuaukko varustettava yli- ja alipaineventtiilillä tai liekinestimellä (Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös palavista nesteistä 313/1985, 55 §).

### 3.5 Vakuutusyhtiön toiminta

Vakuutusyhtiöiden tehtävä on valvoa, että toiminnanharjoittajan ja vakuutusyhtiöiden välisiä sopimuksia noudatetaan. Näihin sopimuksiin kuuluvat vakuutusyhtiöiden tekemät vakuutusehdot, vakuutusyhtiöiden ohjeet ja yleisesti käytössä olevat standardit.

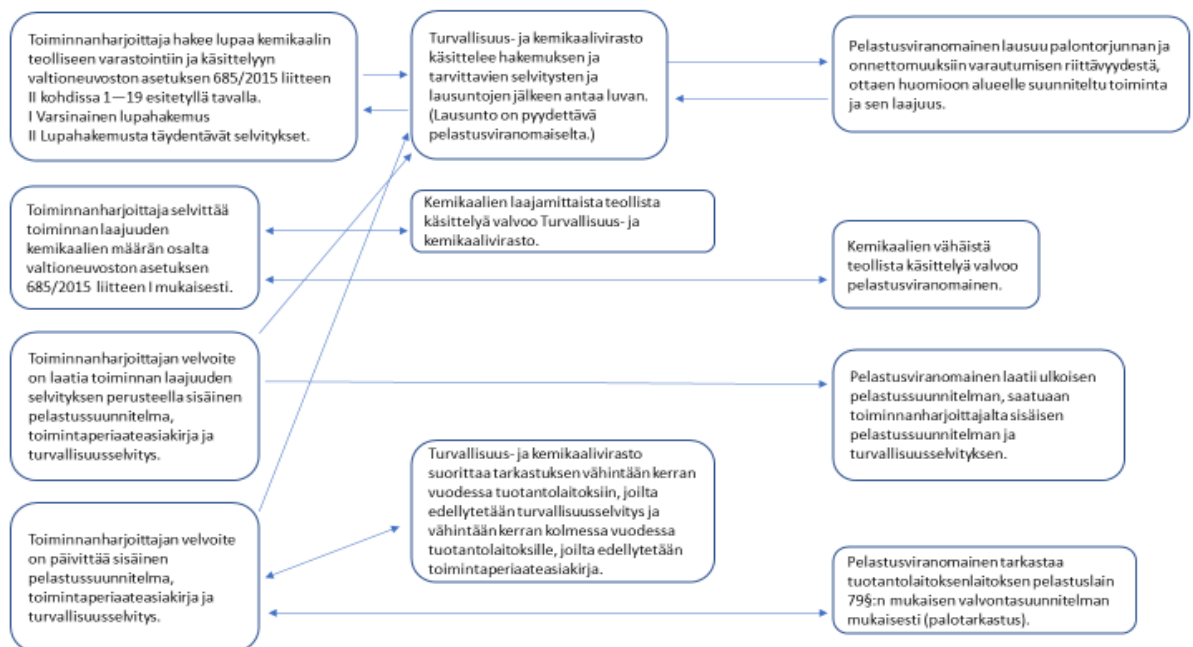
Vakuutusyhtiöiden tarkastajat tarkastavat tuotantolaitoksia ja tekevät riskien arviointia. Suurten omaisuusvahinkojen riskit halutaan minimoida. Tästä syystä vakuutusyhtiöt voivat suositella toiminnanharjoittajalle esimerkiksi vaahtosammutuslaitteiston asentamista palavien nesteiden säiliötarhaan. Vaahtosammutuslaitteiston asentaminen säiliötarhaan voi olla myös vakuuttamisen ehtona. Tällaista menettelytapaa käytetään yleensä uusien tuotantolaitoksien tai säiliötarhojen suunnitteluvaiheessa.

Teollisten kemikaalien varastointia ja käyttöä valvoo Turvallisuus- ja kemikaalivirasto tai pelastusviranomaisen käytön laajuuden mukaan. Vakuutusyhtiöllä ei ole tehtävää kemikaalien valvonta- ja lupa-asioissa.

### 3.6 Teollisen käsittelyn valvonta

Pelastusviranomaisen sekä Turvallisuus- ja kemikaaliviraston roolit vaarallisten aineiden ja kemikaalien valvonnassa on määritelty Pelastuslaissa 379/2011, Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005 ja Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 685/2015.

Kuvan 5 laatikoihin on kirjoitettu velvoitteita, jotka liittyvät vaarallisen aineen tai kemikaalin teollisen käsittelyn tai varastoinnin lupa- ja valvonta-asioihin. Kuvan vasemmassa reunassa on toiminnanharjoittajan velvoitteet, keskellä Turvallisuus- ja kemikaaliviraston rooli ja velvoitteet ja oikeassa reunassa on pelastusviranomaisen rooli ja velvoitteet lupa-asioissa ja valvonnassa.



Kuva 5. Toiminnanharjoittajan, Turvallisuus- ja kemikaaliviraston sekä pelastusviranomaisen velvoitteita kemikaalien teollisen käsittelyn lupa- ja valvonta-asioissa.

Tässä opinnäytetyössä ei ole tarkoitus käsitellä lupa- ja valvonta-asioita kovinkaan perusteellisesti. Kuva 5 on hyvin pelkistetty kaavio kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin edellyttämistä toimista ja velvoitteista sekä viranomaisvalvonnasta.



## 4 PALAVIEN NESTEIDEN RISKIENHALLINTA

Palavien nesteiden säiliötarhan riskien hallinta on osa kokonaisturvallisuutta. Kokonaisturvallisuuteen sisältävät riskien ymmärtäminen, havaitseminen ja dokumentointi, säädösten mukainen laitteistojen suunnittelu ja rakentaminen parhaalla mahdollisella tekniikalla sekä työntekijöiden koulutus laitteistojen käyttöön normaali-, häiriö- ja onnettomuustilanteissa.

Lainsäädännön tarkoitus on ennaltaehkäistä tapaturmien ja onnettomuuksien syntymistä (Työturvallisuuslaki 738/2002). Lainsäädännöllä pyritään myös vähentämään onnettomuuksien seurausten vaikutuksia ihmisille ja ympäristölle (Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005).

Lakiin ja asetukseen kirjoitetut toiminnanharjoittajaa koskevat asiat ovat velvoittavia. Velvoitteiden noudattamista valvovat viranomaiset. Ohjeiden tarkoitus on antaa esimerkkejä, miten jokin asia voidaan toteuttaa. Turvallisuus- ja kemikaaliviraston julkaisemat ohjeet ja oppaat perustuvat lakiin ja asetukseen, joten niitä noudattamalla myös lain velvoitteet täyttyvät. (Tukes-opas Vaaralliset kemikaalit teollisuudessa 2015.)

Standardit ovat esimerkiksi Euroopan vakuutusalan keskusjärjestön CEA:n, yhdysvaltalaisen paloturvallisuusjärjestö NFPA:n tai Suomen Standardisoimisliitto SFS:n sopimia sääntöjä. Valtioneuvoston asetuksella voidaan säätää standardien velvoittavuutta tai käytettävyyttä laitteistojen suunnitteluun, mitoitukseen, komponentteihin ja asennukseen. Eri järjestöjen standardien mitoitusarvot voivat poiketa huomattavasti niitä keskenään verrattaessa. Esimerkiksi vaahtosammutuslaitteiston suunnittelija voi valita, minkä järjestön standardia käytetään laitteiston suunnittelussa ja mitoituksessa. Standardin pitää kuitenkin soveltua kyseisen laitteiston suunnitteluun.

CP Kelco Oy:n Äänekosken tehtaan palavien nesteiden säiliötarha on Turvallisuus ja kemikaaliviraston luvalla rakennettu. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto on velvoittanut rakentamaan niihin säiliöihin vesivalelujärjestelmän, joissa ei ole A1-luokan eristettä vaipan suojana. Vakuutusyhtiön tekemässä riskikartoituksessa on todettu, että säiliötarhassa voi tapahtua alkoholivuoto ja se voi syttyä palamaan vallitilassa. Vakuutusyhtiö ja CP Kelco Oy:n edustajat ovat sopineet vaahtosammutuslaitteiston asentamisesta vallitilaan sekä alkoholisäiliöihin.

Vaahdosammutuslaitteisto on suunniteltu ja rakennettu omaehtoisena paloturvallisuuden parantamiseksi. Tällöin pelastusviranomaiselle ei tarvitse toimittaa laitteiston suunnittelupe-  
rusteita lausuttaviksi. Laitteisto pitää suunnitella Laki pelastustoimen laitteista (10/2007) ja  
Sisäministeriön asetus automaattisista sammutuslaitteistoista (SM-1999-967/Tu-33) mukai-  
sesti. Vaahdosammutuslaitteiston käyttöönottotarkastuksen tekee Turvallisuus- ja kemikaa-  
liviraston nimeämä tarkastuslaitos. Laitteistoa ei tarvitse kytkeä paloilmoitinjärjestelmään,  
koska se on omaehtoinen.

#### 4.1 Riskikartoitus

Tehdasympäristöt ja niiden toiminnot saattavat muuttua aika ajoin maailman talouden ja  
tuotteen kysynnän vaihteluiden takia. Tuotantolaitoksien toimintaa pyritään myös kehittä-  
mään tuottavimmiksi, taloudellisimmiksi ja ympäristöä vähemmän kuormittaviksi. Tämän  
vuoksi myös riskien jatkuva arviointi on tärkeää toimintojen muuttuessa. Työnantajan on  
huolehdittava, että työntekijät pystyvät tekemään työtään sellaisissa olosuhteissa, että siitä  
ei aiheudu heille terveydellistä haittaa (Työturvallisuuslaki 738/2002, 1 §).

Vakuutusyhtiöiden tarkoitus on vakuuttaa omaisuutta onnettomuuksien varalle. Teollisuus-  
laitosten omaisuusarvot ovat sadoista tuhansista euroista satoihin miljooniin euroihin. Va-  
hingin tai onnettomuuden sattuessa yritykselle voi muodostua omaisuusvahinkoja ja kes-  
keytysvahinkoja. Keskeytysvahingot muodostuvat tuotannon pysähtymisestä, joka voi joh-  
taa tuotteiden toimitusvaikeuksiin. Markkinoiden kovan kilpailun takia toimitusvaikeudet  
voivat johtaa jopa asiakkaan ja tuotantolaitoksen välisen yhteistyösopimuksen purkamiseen.

Riskien kartoituksella ja riskien vähentämisellä on suuri taloudellinen merkitys. Intressit ris-  
kien poistamiseksi ovat tuotantolaitoksella sekä vakuutusyhtiöllä.

CP Kelcolla riskienhallintaa tehdään joka päivä. Kaikki työntekijät, myös aliurakoitsijat,  
voivat tehdä ilmoituksen havaitsemistaan puutteista tai epäkohdista. Uusien laitteistojen  
suunnittelijat pyrkivät suunnittelemaan uudet toiminnot siten, että vahinkojen tai onnetto-  
muuksien mahdollisuus olisi mahdollisimman pieni.

CP Kelcon yhteistyökumppani vakuutusasioissa on If P&C Insurance Company Ltd. Vakuu-  
tusyhtiöllä on laaja asiantuntemus teollisuuden riskeistä ja niiden tuomista mahdollisista kes-  
keytysvahingoista.

Vakuutusyhtiön edustaja käy tehtaalla joka vuosi, yleensä vuoden loppupuolella. Tehdaskierroksen aikana vakuutusyhtiön asiantuntija pyrkii tunnistamaan mahdollisia riskipaikkoja tai toimintoja, jotka kirjataan raporttiin (Koskenkari 2018). Riskien tunnistamisen jälkeen pyritään etsimään ratkaisu, jolla riskit saadaan pienennettyä tai kokonaan poistettua.

#### Risk Survey Report Property and Business Interruption 15.11.2018

Raportin mukaan palavien nesteiden säiliöiden yhteenlaskettu tilavuus on 2000 m<sup>3</sup>. Säiliöt ovat sijoitettu betonialtaan sisälle, jonka tilavuus on 110 % suurimman säiliön tilavuudesta. Tilavuudeltaan suurin säiliö on 491 m<sup>3</sup>. (Koskenkari 2018.) Betonialtaasta voidaan käyttää myös nimeä suoja-allas tai vallitila.

Riskikatsausraporttiin on kirjoitettu myös palavien nesteiden säiliöiden putkilinjastojen etäkäyttö sulkuventtiilit (Koskenkari 2018). Putkistojen ja sulkuventtiilien avulla voidaan siirtää säiliöiden sisältöä tuotantolinjoille ja vastaavasti palauttaa tuotannosta takaisin säiliöihin. Putkistot on suunniteltu siten, että säiliöiden sisältöä voidaan siirtää myös säiliötarhan toisiin säiliöihin.

Palavien nesteiden vuodon havaitsemisen avuksi vallitilaan on asennettu yksi hiilivetyjen vuodonilmaisin. Hiilivetytunnistin mittaa jatkuvasti tunnistimen ympäröivää tilaa. Se kykenee mittaamaan ilman ja hiilivedyn seoksia. Vuodonilmaisin antaa hälytyksen järjestelmään, kun hiilivetyilmaseoksen pitoisuus on minuutin ajan ylittänyt tason 40 % alemmasta syttymisrajasta (Koskenkari 2018).

Vallitilaan on suunnitteilla asentaa myös liekinilmaisinjärjestelmä, joka antaa hälytyksen valvomoon. Liekinilmaisujärjestelmää ei ole asennettu vuoden 2019 loppuun mennessä. Toimenpideohjeita hälytykseen reagoimiselle ei ole ollut ennen tämän opinnäytetyön kirjoittamista. Tämän opinnäytetyön yksi tavoitteista on tehdä toimintaohjekortti tehtaan henkilökunnan tarpeisiin palavien nesteiden säiliötarhan vuoto- ja tulipalotilanteisiin.

Säiliöiden suojaus tulipalotilanteessa on toteutettu säiliöiden vesivalelujärjestelmällä ja vallitilan sekä säiliöiden vaahdotusjärjestelmällä (Koskenkari 2018). Vesivaleluputkisto on yhdistetty sammutusvesilinjaan käsikäyttöisen venttiilin avulla. Venttiili sijaitsee noin kuudentoista metrin etäisyydellä palavien nesteiden säiliötarhan vallitilan reunasta. Säiliötarhan lämpösäteilyintensiteetti mallinnuksen mukaan tällä etäisyydellä lämpösäteily ylittää 12 kW/m<sup>2</sup> vallitilan alkoholipalossa (Pekkanen 2010). Lämpösäteilyn määrä on niin suuri, että

vallitilaan valuneen alkoholin syttyessä vesivaleluventtiiliä ei voida enää turvallisesti aukaista. Pelastuslaitos voi yrittää venttiilin aukaisua, mutta se vaatii yhden tai kahden työsuihkun suojaverhoa suojaamaan palomiehiä lämpösäteilyltä. Suuronnettomuusharjoituksessa vuonna 2018 venttiili saatiin auki noin 10 minuuttia hälytyksestä.

Palavien nesteiden säiliötarhan suojaamiseksi on asennettu vaahtosammutusjärjestelmä. Järjestelmä on rakennettu siten, että yhtä aikaa voidaan vaahdottaa vallitila ja säiliöt tai pelkästään vallitila tai säiliöt. Vaahtojärjestelmän aktivointi tapahtuu sprinklerikeskuksen venttiili käsin avaamalla. Säiliöiden sisäpuoliselle vaahdotukselle ja vallitilan vaahdotukselle on omat venttiilit sprinklerikeskuksessa. Avaamalla vallitilan sprinkleriventtiili saadaan vaahdotoliuos vallitilan reunassa oleville vaahtoputkille ja vaahton valuttajille noin 30 sekunnin kuluttua. Teimme vallitilan vaahdotustestin 8.10.2019. Vallitilan reunoilla on 8 kappaletta vaahtoputkia ja valuttajia. Tämän jälkeen vaahtopatja alkaa muodostumaan vallitilan reunoilta kohti keskustaa. Vallitilan koko on  $842\text{m}^2$ , josta säiliöiden pohjapinta-alat ovat yhteensä  $203\text{m}^2$ . Vallitilan netto pinta-ala on siis  $639\text{m}^2$ . (Villikka 2016.)

Valtioneuvoston asetus räjähdyskelpoisten ilmaseosten työntekijöille aiheuttaman vaaran torjunnasta 576/2003 velvoittaa työnantajaa selvittämään ja luokittelemaan tilat, joissa on räjähdyskelpoisia ilmaseoksia. Palavien nesteiden säiliötarhan osalta syttymisriski on tiedostettu. Säiliötarhan alue on tilaluokiteltu SFS-EN 60079-10-1-standardin mukaisesti (CP Kelco, Säiliötarhan tilaluokitus 2015):

- Palavien nesteiden säiliöiden sisäpuoli on tilaluokiteltu luokkaan 0.
- Palavien nesteiden säiliötarhan vallitila on tilaluokiteltu luokkaan 2.
- Palavien nesteiden pumpputila on tilaluokiteltu luokkaan 1.

Taulukossa 6 on tilaluokat ja niiden selitteet. Tässä opinnäytetyössä en tarkastele palavien nesteiden pumpputilaa. Tilaluokituksen mukaan vallitilassa ei normaalisti esiinny ilmakehäsuseoksia, jotka voisivat räjähdyskenomaisesti syttyä. Alkoholisäiliöiden sisäpuolella räjähdyskelpoinen ilmaseos esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.

Taulukko 6. Tilaluokituksen määräytyminen kaasuille (Tukes Atex 2017).

Tilaluokka 0	Tila, jossa ilman ja kaasun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos <b>esiintyy jatkuvasti, pitkäaikaisesti tai usein.</b>
Tilaluokka 1	Tila, jossa ilman ja kaasun muodossa olevan palavan aineen muodostama räjähdyskelpoinen ilmaseos <b>esiintyy normaalitoiminnassa satunnaisesti.</b>
Tilaluokka 2	Tila, jossa ilman ja kaasun muodossa olevan palavan aineen muodostaman räjähdyskelpoisen ilmaseoksen <b>esiintyminen normaalioloissa on epätodennäköistä ja se kestää vain lyhyen ajan.</b>

### An Occupied Buildings Risk Assessment

Chiworth a Dekra Company on tehnyt riskien arvioinnin henkilökunnan turvallisen poistumisen mahdollisuuksista rakennuksista palavien nesteiden säiliötarhassa syttyneen tulipalon aikana. Riskien arvioinnissa tutkitaan rakennuksien ja poistumisreittien etäisyyttä vallitilan keskusta nähdä. Lämpösäteilymallinnus on tehty Phast-ohjelman avulla. (OBRA 2016.)

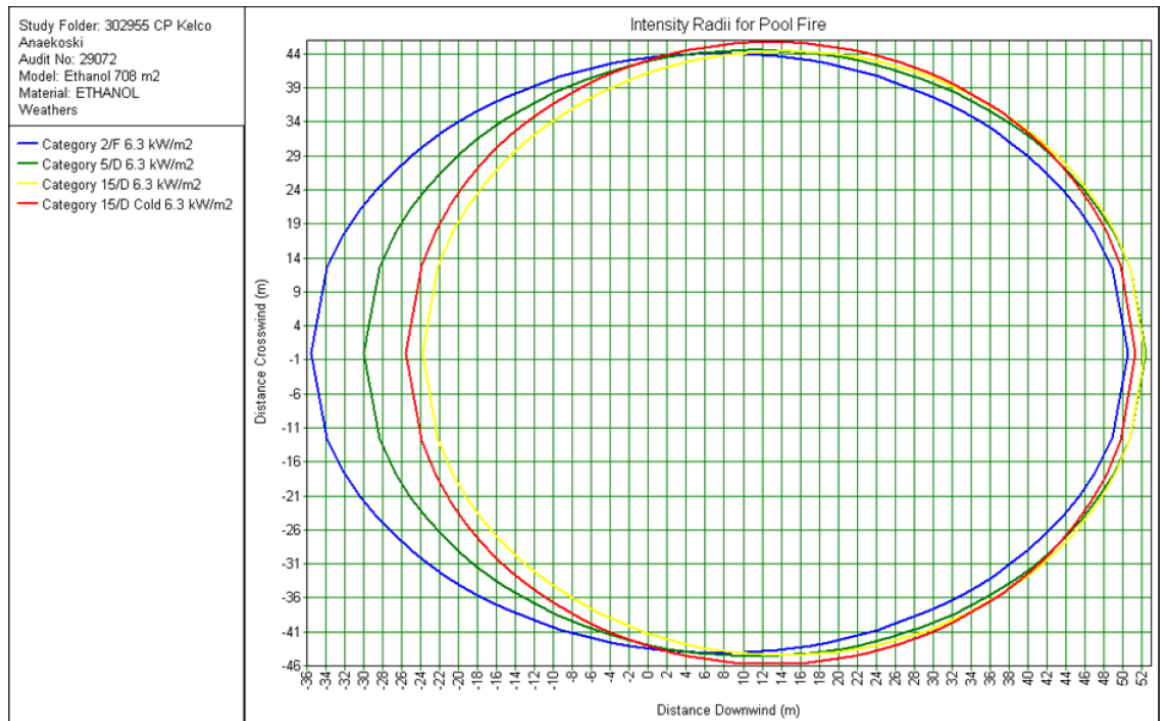
Lämpösäteilymallinnuksen lähtötiedot ovat seuraavat:

1. Vuoto tapahtuu 20 °C lämpötilassa.
2. Ympäröivät olosuhteet ovat normaalisti 20 °C ja suhteellisen kosteuden ollessa 50%, mutta palot mallinnetaan myös -10 °C ja suhteellisen kosteuden ollessa 10 % (edustaa talviolosuhteita).
3. Säteilyn intensiteetti (lämpösäteilyn vuo) mallinnetaan 1,5 m maan pinnasta (oletettu pään korkeus).

Allaspalon alue eli vallitilan koko on 708 m<sup>2</sup>, josta on vähennetty säiliöiden pohjapinta-alat.

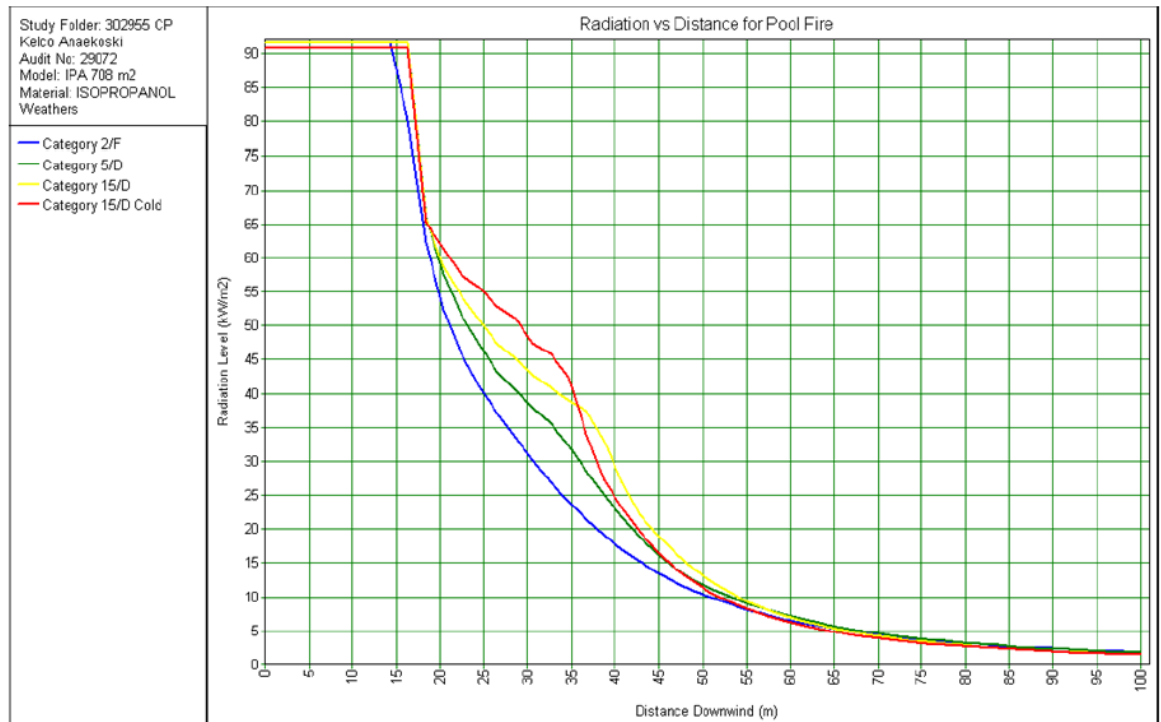
Riskien arviossa on määritelty lämpösäteilyn tehosiheyden arvo, jossa turvallinen poistuminen rakennuksista on mahdollista. Lämpösäteilyn tehosiheyden arvona on käytetty 6,3 kW/m<sup>2</sup> (OBRA 2016). Kuvassa 6 on eri väreillä kuvattu, miten eri tuuli- ja lämpötilaolosuhteet vaikuttavat lämpösäteilyyn etanolin vallitilapalossa. Vaaka-akselilla on kuvattu etäisyys metreinä tuulen ala- ja yläpuolella. Tuulen alapuolella lämpösäteilyn tehosiheys 6,3 kW/m<sup>2</sup>

on noin 50 metrin etäisyydellä vallitilan keskustasta. Tuulen yläpuolella vastaava lämpösäteilyn tehotiheys saavutetaan 24 - 36 metrin etäisyydellä vallitilan keskustasta. Kova tuuli ja kylmä ilma vaikuttavat metrimäärään laskevasti tuulen yläpuolella.



Kuva 6. Tuulen vaikutus lämpösäteilyn etäisyyksiin (OBRA 2016).

Kuvassa 7 on kuvattu isopropanolin vallitilapalon lämpösäteilyn tehotiheyden määriä suhteessa etäisyyteen. Eri värit kuvaavat eri tuuliolosuhteiden ja ilman lämpötilan vaikutusta etäisyyksiin metreinä tuulen alapuolella ja lämpösäteilyn tehotiheyteen kW/m<sup>2</sup>. Isopropanolilla on suurempi paloteho kuin etanolilla (26,9 MJ/kg), joten myös lämpösäteilyn vaikutus ulottuu laajemmalle alueelle. Kuvaajien mukaan lämpösäteilyn tehotiheyden arvo 6,3 kW/m<sup>2</sup> on noin 60 - 65 metrin etäisyydellä vallitilan keskustasta.



Kuva 7. Lämpösäteilyn tehotiheyden määrä suhteessa etäisyyteen vallitilapalossa (OBRA 2016).

Taulukossa 7 on Teknologian tutkimuskeskuksen (VTT) selvittämät lämpösäteilyn arvot, joiden perusteella onnettomuuden aiheuttamia riskejä ja vaaroja voidaan arvioida ja todentaa. Näitä arvoja voidaan käyttää laitteistojen ja rakennusten suojauksien suunnittelun sekä alueella työskentelevien henkilöturvallisuuden arviointiin.

Taulukko 7. Lämpösäteilyn määrä ja niiden vaikutus (Sikanen 2017).

Lämpösäteilyn intensiteetti	Vaikutus
8 kW/m <sup>2</sup>	Rakennukset, laitteistot, rakenteet tai muut paloa levittävät kohteet voivat syttyä
5 kW/m <sup>2</sup>	Voi estää ihmisen suojautumisen tai poistumisen lämpösäteilyn vaikutus alueelta rakennus tai muissa kohteissa, joissa ihmisiä voi oleskella
3 kW/m <sup>2</sup>	Voi aiheuttaa palovammoja ulkona oleville ihmisille kohteissa, joissa poistuminen on hidasta tai hankalaa
1.5 kW/m <sup>2</sup>	Vaara-alueen raja-arvo

## 4.2 Sisäinen pelastussuunnitelma

Velvoite sisäisen pelastussuunnitelman laatimiseen perustuu Euroopan Unionin neuvoston direktiiviin 2012/18/EU (Seveso III -direktiivi). Tämän direktiivin historia on vuodelta 1976, jolloin Pohjois-Italian kaupungissa nimeltä Seveso tapahtui vakava kemikaalionnettomuus. Onnettomuudesta aiheutui vakavia seurauksia ihmisille ja eläimille. Kemikaalionnettomuus tapahtui, kun kemiantehtaassa räjähti valmistusreaktori ja kemikaaleja vapautui ilmaan. Yksi kemikaaleista oli 2,3,7,8 -tetraklooridibentso-p-dioksiini (TCDD). (Wipf ja Schmid 1983, 255 - 256.)

Onnettomuuden jälkeen Euroopan unioni laati Seveso I-direktiivin, joka julkaistiin vuonna 1982. Direktiivillä haluttiin ehkäistä vastaavien suuronnettomuuksien tapahtuminen. Toinen tärkeä tavoite oli saada rajoitettua tuotantolaitoksissa tapahtuvien kemikaalionnettomuuksien seurauksia. (Tirroniemi 2018.)

Seveso-direktiivi ohjaa kansallista lainsäädäntöä. Tuotantolaitoksen sisäisen pelastussuunnitelman laatimisvelvoite on yrityksillä, joiden kemikaalien ja räjähteiden käsittely on laajamittaista. (Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005, 28 §.)

Tuotantolaitoksen sisäinen pelastussuunnitelma on asiakirja, johon on kirjoitettu riskien arvioinnin perusteella, minkälaisia onnettomuuksia laitoksen toiminnassa on mahdollista tapahtua. Mahdollisten onnettomuuksien torjumiseksi on määriteltävä toimenpiteet, joilla onnettomuuksia voidaan ehkäistä. Asiakirja on myös suunnitelma, millä toimenpiteillä onnettomuuksien seurauksia ja vaikutuksia voidaan rajoittaa. Toiminnanharjoittajalla on myös velvoite suunnitella ympäristön puhdistamiseen tarvittavat toimenpiteet. (Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005, 28 §.)

Tuotantolaitoksen sisäinen pelastussuunnitelma tulee toimittaa Turvallisuus ja kemikaalivirastoon ennen toiminnan aloittamista. Vaarallisen kemikaalin laajamittaista teollista käsittelyä saa harjoittaa vain Turvallisuus ja kemikaaliviraston luvalla. (Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005, 23 §.) Ennen lupapäätöksen tekemistä Turvallisuus- ja kemikaaliviraston on pyydettävä lausunto pelastusviranomaiselta. Pelastusviranomaisen tekemät johtopäätökset sisäisestä pelastussuunnitelmasta voidaan esittää lupapäätöksessä. Lupapäätökseen on kirjattava Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta (685/2015) 10 § mukaan seuraavaa:



- 1) minkälaista teollista käsittelyä ja varastointia lupa koskee;
- 2) paikka, jossa tuotantolaitos sijaitsee;
- 3) tiedot niistä vaarallisista kemikaaleista, joita päätös koskee;
- 4) kemikaalien enimmäismäärät tuotantolaitteistossa ja varastossa;
- 5) lupaehdot;
- 6) miten ympäristövaikutusten arviointimenettelystä annetun lain (468/1994) mukainen arviointi on otettu huomioon.

*Lupapäätökseen on liitettävä tarpeelliset selvitykset.*

Valtioneuvoston asetuksella vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta (685/2015) säädetään sisäisen pelastussuunnitelman sisällöstä, laatimisesta ja uusimisesta. Lisäksi asetuksella veloitetaan tuotantolaitoksia järjestämään suunnitelman mukaisia harjoituksia. Harjoituksilla varmistetaan suunnitelmien toimivuus ja tietojen oikeellisuus (19 §).

Tuotantolaitoksen sisäinen pelastussuunnitelma tulee laatia kuuntelemalla henkilökuntaa ja alihankkijoita, jotka työskentelevät tuotantolaitoksen alueella. Pelastussuunnitelmassa pitää ottaa huomioon myös kunnallisen pelastustoimen resurssit ja toiminta-ajat. Pelastussuunnitelmaan on kirjoitettava arvio, minkälaiset onnettomuudet voivat aiheuttaa vaikutuksia tuotantolaitoksen ulkopuolelle. Lisäksi pelastussuunnitelmassa pitää olla Valtioneuvoston asetuksella vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta (685/2015) 17 §:ssä säädetyt asiat ja asetuksen liitteessä V tarkoitetut tiedot.

#### *Liite V*

#### *SISÄISEN PELASTUSSUUNNITELMAN SISÄLTÖ*

1. Niiden henkilöiden nimet ja tehtävät, joilla on valtuudet käynnistää pelastustoimet ja jotka ovat vastuussa laitoksen sisäisistä pelastustoimista. Sen henkilön nimi ja tehtävät, joka vastaa yhteysistä ulkoisesta pelastussuunnitelmasta vastaaviin viranomaisiin.
2. Kuvaus toimista, joihin on ryhdyttävä tilanteen tai tapahtuman hallitsemiseksi ja sen seurauksien rajoittamiseksi, jokaisen ennakoitavissa olevan tilanteen tai tapahtuman osalta, joka voisi merkittävästi vaikuttaa suuronnettomuuden syntymiseen; kuvauksessa on selostettava myös turvallisuuslaitteet ja käytettävissä olevat voimavarat.

*3. Alueella oleviin ihmisiin kohdistuvien vaarojen rajoittamiseen tähtäävät toimet, mukaan lukien hälytysjärjestelmä ja ohjeet käyttäytymisestä hälytyksen sattuessa.*

*4. Millä tavalla onnettomuuden sattuessa ilmoitetaan nopeasti ulkoisen pelastussuunnitelman aloittamisesta vastaaville viranomaisille, millaisia tietoja annetaan välittömästi ja miten yksityiskohtaisempia tietoja toimitetaan sitä mukaa kuin niitä saadaan.*

*5. Millä tavalla henkilökuntaa koulutetaan tehtäviin, jotka heidän edellyttään suorittavan, ja tarpeen vaatiessa tämän toiminnan yhteensovittaminen ulkoisen pelastuspalvelun kanssa.*

*6. Millä tavalla alueen ulkopuolella tehtäviä pelastustoimia tuetaan.*

(Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 685/2015.)

Sisäinen pelastussuunnitelma pitää tarkistaa kolmen vuoden välein tai tilanteessa, jossa tuotantolaitoksen toiminnot muuttuvat oleellisesti. Pelastussuunnitelman sisältöä tarkastettaessa pitää huomioida muuttuneet tekniset laitteistot ja lisääntynyt tietämys, miten suuronnettomuuksia voidaan estää ja torjua paremmin. Päivityksen jälkeen suunnitelma on toimitettava alueen pelastusviranomaiselle. (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 685/2015, 18 §.)

#### 4.3 Sammutuslaitteisto

Tämän työn yksi tavoite on selventää palavien nesteiden säiliötarhan vaahtosammutuslaitteistojen suunnittelun perusteita. Tässä kappaleessa käsitellään sammutuslaitteistojen ja vaahtosammutuslaitteiden suunnittelun perusteita ja velvoitteita sekä sitä, mistä ne määräytyvät.

Laki pelastustoimen laitteista 10/2007, 4 §, määrittelee rakennukseen kiinteästi asennettavat sammutuslaitteet pelastustoimen laitteiksi. Lain 5 §:n mukaan pelastustoimen laitteet tulee olla käyttötarkoitukseen sopivia ja toimintavarmoja. Niitä on myös pystyttävä käyttämään turvallisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että laitteistojen käytöstä ei saa aiheutua varaa ihmisille, omaisuudelle tai ympäristölle.

CP Kelcon, Äänekosken tehtaan palavien nesteiden säiliötarhassa on lieriön muotoisia säiliöitä, jotka ovat rakennettu saman suoja-altaaseen (vallitilaan). Lain mukaan rakennukseen

kiinteästi asennettavat sammutuslaitteet ovat pelastustoimen laitteita (Laki pelastustoimen laitteista 10/2007, 4 §).

Maankäyttö- ja rakennuslaki määrittelee sanan ”rakennus” seuraavalla tavalla: *Jäljempänä tässä laissa säädetään uuden, asumiseen, työntekoon, varastointiin tai muuhun käyttöön tarkoitetun kiinteän tai paikallaan pidettäväksi tarkoitetun rakennelman, rakenteen tai laitoksen, joka ominaisuuksiensa vuoksi edellyttää viranomaisvalvontaa turvallisuuteen, terveellisyyteen, maisemaan, viihtyisyyteen, ympäristönäkökohtiin taikka muihin tämän lain tavoitteisiin liittyvistä syistä (rakennus), rakentamisesta.* (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 113 §.)

Lain 5 § mukaan Valtioneuvoston asetuksella voidaan säätää säännöksiä pelastustoimen laitteille (Laki pelastustoimen laitteista 10/2007). Sisäministeriö on antanut asetuksen elokuussa vuonna 2000. Tällä asetuksella säädetään pelastustoimen teknisistä vaatimuksista. (Sisäasiainministeriön asetus automaattisista sammutuslaitteistoista SM-1999-967/Tu-33.)

Automaattisen sammutuslaitteiston (sprinklerilaitteisto) suunnittelu toteutetaan CEA 4001:n ohjeiden mukaisesti, siltä osin kuin laissa ei toisin säädetä (Sisäasiainministeriön asetus automaattisista sammutuslaitteistoista SM-1999-967/Tu-33).

Sammutuslaitteistojen suunnittelussa voidaan käyttää myös muitakin julkaisuja. Suunnittelun pitää kuitenkin täyttää asetuksen asettamat vaatimukset (Sisäasiainministeriön asetus automaattisista sammutuslaitteistoista SM-1999-967/Tu-33).

CEA (Comité Européen des Assurances) on Euroopan vakuutus- ja jälleenvakuutusalan keskusliitto. CEA 4001: 2007 – 06 on tekninen ohje, joka on annettu EUROOPAN YHTEISÖJEN KOMISSION ASETUKSEN (EY) N:o 358/2003:n mukaisesti. (FK - CEA 4001: 2007.)

CEA 4001 tekninen ohje määrittelee vähimmäisvaatimukset rakennuksiin ja teollisuuskohteisiin käytettävien sprinklerilaitteistojen suunnitteluun, asentamiseen ja huolto- ja kunnossapitoon. Ohjetta ei sovelleta aluelaukaisusprinklerilaitteistoihin. (FK - CEA 4001: 2007.)

CP Kelco Oy:n palavien nesteiden säiliötarhan vaahtosammutuslaitteisto toimii aluelaukaisu periaatteella, joten CEA 4001 ohjetta ei sovelleta sen suunnittelussa, ainakaan täysi määräisenä.

EN 12845:2015 ”Fixed firefighting systems, Automatic sprinkler systems, Design, installation and maintenance” on eurooppalainen standardi kiinteiden sammutusjärjestelmien ja automaattisten sprinklerilaitteistojen suunnitteluun, asennukseen ja huoltoon. Suomen standardisoimisliitto on vahvistanut eurooppalaisen standardin suomalaisiksi kansalliseksi standardiksi. Tämä standardi on SFS-EN 12845 + AC. Tämä standardi ei sovellu vesivalelulaitteistoihin tai automaattisiin aluelaukaisulaitteistoihin. (SFS-EN 12845 + AC 2015.)

Standardi SFS-EN 13565-1 kuuluu eurooppalaisten standardien sarjaan. Tämä standardi sisältää vaahtosammutuslaitteistojen komponenttien ja testimenetelmien vaatimukset (SFS-EN 13565-1. 2019). Vaahtosammutuslaitteiston suunnittelussa tämä standardi ohjaa käyttämään komponentteja, jotka täyttävät standardin vaatimukset.

Sammutuslaitteistojen suunnittelussa, testauksessa ja tyhjennyksessä on noudatettava paikallisia ympäristömääräyksiä. Sammutuslaitteistossa käytettävä vaahtoneste on sovellettava suojattavaan palaavaan nesteeseen. Palavan nesteen ollessa vesiliukoinen, on vaahtonesteen oltava alkoholin kestävä. (FK - CEA 4001: 2007.)

Tarvittava vaahtoliuoksen määrä on vaahtosammutuslaitteiston suunnittelun yksi tärkeimmistä lähtöparametreista, millä vaahtomäärällä tulipalo saadaan sammumaan, ennen kuin lämpövaikutus aiheuttaa lisävahinkoa säiliörakenteille tai säiliötarhan viereisille rakennelmille tai laitteille. Palavan nesteen lämpösaiteilyvaikutus vaikeuttaa myös pelastuslaitoksen toimintaedellytyksiä kohteessa.

Standardia SFS 3357 2017 ”palavien nesteiden varaston sammutus- ja palontorjuntakalusto” sovelletaan palavien nesteiden varaston sammutus ja palontorjuntajärjestelmiin, joissa palavien nesteiden määrä on vähintään 500 m<sup>3</sup>.

Taulukossa 8 on SFS 3357 2017-standardissa määritelty vaahtoliuosmäärät. Taulukon mukaan vaahtoliuoksen tilavuusvirta pitää olla vähintään 8 litraa minuutissa yhtä neliometriä kohden, kun mitoitetaan säiliön sisäpuolista vaahdotusjärjestelmää halkaisijaltaan alle 45 metrin säiliölle. CP Kelcon palavien nesteiden säiliötarhan säiliöiden halkaisijat ovat noin 6 metriä.

Taulukko 8. Kiinteäkattoisen säiliön vaahtosammutukseen tarvittava vaahtoliuoksen määrä luokan IA vaahdotteille (SFS 3357 2017).

Säiliön halkaisija, m	Veden tilavuusvirta nestepinnan pinta-alaa kohti, l/m <sup>2</sup> /min	Veden tilavuusvirta nestepinnan pinta-alaa kohti, l/m <sup>2</sup> /min vesiliukoisille (AR vaahdote)
≤ 45	4,0	8,0
45 < ... < 60	5,0	10,0
≤ 60	6,0	12,0

Vallitilan vaahtosammutuksen mitoittamiseen vaikuttaa vallitilan pinta-ala. Etanoli ja isopropanoli ovat vesiliukoisia palavia nesteitä. Taulukossa 9 on tarvittavan vaahtoliuoksen määrä vallitilan sammutukseen. Taulukon 9 oikeassa reunassa on mitoitusarvo alkoholeille. CP Kelcon Äänekosken tehtaan vallitilan vapaa neliömäärä on noin 600 neliömetriä (SPS 2015). SFS 3357 -standardin mukaan tulipalon sammuttamiseen tarvitaan vaahtoliuosvirtaa 8 litraa minuutissa yhtä neliömetriä kohden. Kun tämä luku kerrotaan vallitilan neliömäärällä 600, saadaan vaahtosammutuslaitteistolle vaadittava suunnitteluarvo. Sammutukseen tarvittava vaahdotteen määrä on CP Kelcon tapauksessa noin 4800 litraa minuutissa.

Taulukko 9. Vallitilan vaahtosammutukseen tarvittava vaahtoliuoksen määrä luokan IA vaahdotteille, kiinteät vaahdotuslaitteet (SFS 3357 2017).

Vallitilan pinta-ala, m <sup>2</sup> laskennallinen sammutusaika, keski-/raskasvaaho min	Vaahtoliuoksen annostus, l/m <sup>2</sup> /min	Vaahtoliuoksen annostus, l/m <sup>2</sup> /min vesiliukoisille (AR vaahdote)
< 400 m <sup>2</sup> , 15/20 min	4,0	8,0
400–2 000 m <sup>2</sup> , 30/45 min	4,0	8,0
> 2 000 m <sup>2</sup> , 30/45 min	5,0	10,0

Sisäasiainministeriön asetus automaattisista sammutuslaitteistoista antaa mahdollisuuden käyttää myös muita ohjeita sammutuslaitteiston suunnitteluun. Muita yleisesti käytettyjä ohjeita ovat esimerkiksi NFPA ja FM Global.

NFPA (National Fire Protection Association) on yhdysvaltalainen paloturvallisuusjärjestö. Sen on perustaneet vuonna 1896 palovakuutusyhtiöt. Yhtiöiden tarkoituksena oli saada

luotua sprinkleristandardi. Nykyään NFPA on julkaissut jo yli 300 paloturvallisuusstandardia.

FM Global on kansainvälinen vahinkovakuutusyhtiö. Se on perustettu 1835 Yhdysvalloissa teollisuuden omaisuusvahinkojen vakuuttamiseen. Nykyään yhtiöllä on omat säännöt sammutuslaitteistojen suunnitteluun ja toteuttamiseen. Säännöt tukeutuvat osittain NFPA:n standardeihin. (Rantala 2017.)

NFPA 11-standardi on kevyt-, keski- ja raskasvaahdoille. Tämä standardi määrittelee vaadittavan vaahtoliuosvirtaaman palavien nesteiden säiliö- ja vallitilan tulipaloille. (NFPA 11 2016.)

Taulukossa 10 on kiinteäkattoisen säiliön sammutukseen tarvittava vaahtoliuoksen minimi virtaama lieriön muotoisille säiliöille, joissa varastoidaan hiilivetyjä. Tyypin 2 purkaustulo tarkoittaa hyväksyttyä purkauslaitetta, joka ei ohjaa vaahtoa pehmeästi pintaan ilman, että vaahto uppoaa tai sekoittaa pintaa, mutta joka on suunniteltu niin, että se vähentää vaahdon uppoamista ja pinnan sekoittumista. (NFPA 11 2016.)

Taulukko 10. Kiinteäkattoiseen säiliön sammutukseen vaadittava minimi vaahtoliuosmäärä (NFPA 11 2016).

**Table 5.2.5.2.2 Minimum Discharge Times and Application Rates for Type II Fixed Foam Discharge Outlets on Fixed-Roof (Cone) Storage Tanks Containing Hydrocarbons**

Hydrocarbon Type	Minimum Application Rate		Minimum Discharge Time (minutes)
	L/min · m <sup>2</sup>	gpm/ft <sup>2</sup>	
Flash point between 37.8°C and 60°C (100°F and 140°F)	4.1	0.10	30
Flash point below 37.8°C (100°F) or liquids heated above their flash points	4.1	0.10	55
Crude petroleum	4.1	0.10	55

Taulukon 10 mukaan palavat nesteet, joiden leimahduspiste on alle 37,8 °C tai niitä säilytetään yli leimahduspisteen lämpötilassa, on vaahtoliuosvirtaaman oltava vähintään 4,1 litraa minuutissa yhtä neliometriä kohden. Taulukon mukaan vaahdotuksen kokonaisaika voi olla 55 minuuttia, jonka ajan vaahtosammutuslaitteiston on pystyttävä toimimaan yhtäjaksoisesti. Tämä aika vaikuttaa vaahtonesteen varastointimäärään.

Vallitilan sammuttamiseen tarvittava vaahtoliuosvirtaaman määrään vaikuttaa vaahdon syöttömenetelmä. Taulukossa 11 on ylemmällä rivillä ”Low-level foam discharge outlets” tarkoittaa kiinteästi asennettua vaahdonpurkausulostuloa, joka on asennettu lähelle palavan nesteen pintaa. Tällä vaahdon syöttötavalla pyritään siihen, että vahto ei sukeltaisi nesteseen ja aiheuttaisi nesteen pisaroitumista. Kuvassa 8 on vaahdonpurkausulostulo vallitilassa.



Kuva 8. CP Kelco Oy:n vallitilassa oleva vaahtoputki ja vaahdon valuttaja ”purkausulostulo”.

Taulukossa 11 on kiinteästi asennetun vallitilan vaahdotuslaitteiston minimi vaahtoliuosvirtaama 4,1 litraa minuutissa vallitilan neliömetriä kohden. ”Foam monitors” tarkoittaa siirrettäviä vaahdotuslaitteistoja, esimerkiksi vaahtotykkejä. Siirrettäviä laitteistoja käytettäessä minimi vaahtoliuosvirtaama on 6,5 litraa minuutissa vallitilan neliömetriä kohden. Molemissa vaahdotusmenetelmissä on varauduttava 20 minuutin yhtäjaksoiseen vaahdotukseen. Tämä aika vaikuttaa vaahtonesteen varastointimäärään. (NFPA 11 2016.)

Taulukko 11. Vallitilan sammuttamiseen vaadittava vaahtoliuosvirtaama ja toiminta-aika (NFPA 11. 2016).

Table 5.7.3.2 Minimum Application Rates and Discharge Times for Fixed Foam Application on Diked Areas Involving Hydrocarbon Liquids

Type of Foam Discharge Outlets	Minimum Application Rate		Minimum Discharge Time (minutes)	
	L/min · m <sup>2</sup>	gpm/ft <sup>2</sup>	Class I Hydrocarbon	Class II Hydrocarbon
Low-level foam discharge outlets	4.1	0.10	30	20
Foam monitors	6.5	0.16	30	20

NFPA 11-standardin mukaan CP Kelcon Äänekosken tehtaan palavien nesteiden säiliötarhan säiliöiden ja vallitilan vaahtosammutusjärjestelmä voidaan mitoittaa vaahtoliuosvirtaamalle 4,1 litraa minuutissa neliometriä kohden. Vallitilan osalta vaahtoliuoksen kokonaisvirtaama on 600 neliometriä kerrottuna 4,1 litralla. Tulokseksi saadaan 2460 litraa minuutissa.

#### 4.4 Turvallisuus- ja kemikaaliviraston ohjeet

Vaarallisten aineiden tai kemikaalien laajamittainen teollinen varastointi ja käyttö vaatii luvan. Luvan antaa Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Tukes toimii myös laajamittaisen teollisen varastoinnin ja käytön valvojana ja tarkastajana. (Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005, 23 § ja 26a §.)

Turvallisuus- ja kemikaalivirasto on laatinut oppaita ja ohjeita, joiden sisältö perustuu säädöksiin. Säädöksiin sisältyy myös SEVESO III -direktiivi (2012/18/EU), joka on suuronnettomuuksien vaaran torjuntaa koskeva säädös (Tukes-opas Vaaralliset kemikaalit teollisuudessa 2015). Oppaiden ja ohjeiden tarkoitus on selkeyttää toiminnanharjoittajalle, mitä laissa ja asetuksessa on säädetty vaarallisten aineiden ja kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista. Oppaisiin ja ohjeisiin on kirjoitettu toiminnanharjoittajan velvoitteet sekä se, miten ne määräytyvät, toiminnan laajuuden mukaisesti.



Turvallisuus- ja kemikaalivirasto on julkaissut esimerkiksi seuraavat julkaisut:

- Vaaralliset kemikaalit teollisuudessa
- Sisäinen pelastussuunnitelma
- Vaarallisten kemikaalien säiliöitä, laitteita ja käyttöä koskevat standardit.

Tukes-opas Vaaralliset kemikaalit teollisuudessa sisältää toiminnanharjoittajia koskevia yleisiä turvallisuusperiaatteita. Turvallisuusperiaatteilla tarkoitetaan asioita kuten vaarojen tunnistaminen ja niihin ennalta varautuminen. Toiminnanharjoittajan on tunnettava käsiteltävien kemikaalien ominaisuudet ja niihin liittyvät vaaratekijät. Tuotannossa tulisi käyttää ensisijaisesti sellaisia kemikaaleja ja tuotantomenetelmiä, joista aiheutuu mahdollisimman vähän vaaraa. Tuotantolaitoksessa mahdollisesti tapahtuvat onnettomuudet pitää pystyä tunnistamaan sekä varautumaan niihin. (Tukes-opas Vaaralliset kemikaalit teollisuudessa 2015.)

Tuotantolaitosten osalta kemikaalien valvontaa voi myös valvoa pelastusviranomainen. Valvova viranomainen määräytyy toiminnan laajuuden mukaan. Suomessa kemikaalien käytön laajuus tuotantolaitoksissa jaetaan kahteen ryhmään: laajamittaiseen tai vähäiseen. Kemikaalien käytön vähäistä toimintaa valvoo pelastusviranomainen ja laajamittaisen käytön valvojana toimii Kemikaali- ja turvallisuusvirasto. (Tukes-opas Vaaralliset kemikaalit teollisuudessa 2015.)

Kemikaalien käytön laajuus voidaan selvittää esimerkiksi kemikaali- ja turvallisuusviraston verkkosivuilta löytyvän kemikaalien suhdelukulaskurin avulla. Toiminnan laajuutta määrittellään suhdelukujen avulla. Tuotantolaitoksen kemikaalien määriä verrataan Valtioneuvoston asetuksen vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta (685/2015) liitteen 1, osassa 1 ja 2 oleviin kemikaaliryhmien tai nimettyjen kemikaalien määrään. (Tukes-opas Vaaralliset kemikaalit teollisuudessa 2015.)

Kemikaalien laajan teollisen varastoinnin ja käytön luvan saaneet toiminnanharjoittajat, ovat velvoitettu laatimaan sisäinen pelastussuunnitelma. Sisäisen pelastussuunnitelman sisältö on määriteltä Valtioneuvoston asetuksen vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta (685/2015) 17 §:ssä ja liitteessä V. Turvallisuus- ja kemikaaliviraston tekemässä ohjeessa sisäisen pelastussuunnitelman sisällön asiat on luetteloitu. Valtioneuvoston asetuksen (685/2015) mukaiset minimivaatimukset pelastussuunnitelman sisällöstä täyttyvät

laadittaessa suunnitelma ohjeen mukaisesti. (Tukes-ohje Sisäinen pelastussuunnitelma 2019.)

Vaarallisten kemikaalien säiliöitä, laitteita ja käyttöä koskevat standardit ovat Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta (390/2005) 135 §:n mukaan julkaistava Turvallisuus- ja kemikaaliviraston toimesta. Turvallisuus- ja kemikaaliviraston julkaisemassa standardi-luettelossa on noin 60 standardia. Standardit ovat jaoteltu säiliöihin, laitteisiin ja käyttöä koskeviin osioihin. (Tukes-standardiluettelo 2019).

#### 4.5 Vuotojen hallitseminen

Mahdollisten kemikaalivuotojen hallitsemiseksi laitteistojen ja rakenteiden pitää olla siten suunniteltu, että kemikaalivuodot pystytään keräämään talteen. Vaarallisia kemikaaleja sisältävät säiliöt pitää olla sijoitettuina vallitilaan, jos ne sijaitsevat ulkona. (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 685/2015.)

Säiliöstä vallitilaan vuotaneen kemikaalin tyhjentäminen imuautolla on ohjeiden ja säädösten mukaan mahdollista, jos lastauspaikka varustellaan alkusammutuskalusto- ja maadoitusvälineillä (SFS 3353 2019).

Vuodonilmaisimet pitää suunnitella, mitoittaa ja sijoittaa siten, että laitteistojen tai säiliöiden ulkopuolelle pääsevät palavat nesteet havaitaan mahdollisimman nopeasti. Tällä tavoin saadaan syttymisen riskiä madallettua ja välittömiä henkilö-, omaisuus- ja ympäristövahinkojen syntymisen riskiä pienennettyä. (SFS 3353 2019.)

Vuodon ilmaisimista ja liekin ilmaisimista tulevat hälytykset pitää johtaa jatkuvasti valvottuun paikkaan. Tuotantolaitoksen valvotussa paikassa pitää olla jatkuva valmius käynnistää pelastus- ja sammutustoimet sekä varoittaa vaarassa olevia henkilöitä. Tarvittaessa ilmaisimista tulevat hälytykset voidaan ohjata hätäkeskukseen. Vuodon ja liekin ilmaisujärjestelmiä voidaan täydentää kameravalvonnalla, jolloin ilmaisimien antama hälytys voidaan tarkistaa kamerakuvan avulla. (SFS 3353 2019.)

## 5 ALKOHOLIVUODON JA TULIPALON HALLINTA

### 5.1 Syttymättömän vuodon vaara-alue ja syttymisen estäminen

Säiliön tai putkiston rikkoutuessa etanolia tai isopropanolia valuu vallitilaan. Vallitilaan valunut neste muodostaa lammikon, jonka laajuus määräytyy vuotavan nesteen tilavuuden mukaan. Etanolin viskositeetti 20 °C:ssa on 1.074 mPas (ICSC 0044 2018). Veden viskositeetti on 20 °C:ssa on 1.005 mPas (Viljanen 2012, 6). Veden ja etanolin viskositeetit ovat hyvin lähellä toisiaan, joten ne myös muodostavat lammikon samalla tavalla.

Vallitilaan vuotavan nesteen lämpötila sekä ulkoilman lämpötila vaikuttavat etanolin ja isopropanolin syttymisherkkyyteen. Säiliötarhassa olevissa säiliöissä varastoidaan puhtaita alkoholeja sekä tuotannossa jo käytettyjä alkoholeja. Säiliöissä varastoitavien alkoholien sekoitussuhteet ja niiden sisältämän alkoholin tilavuusprosentti vaihtelee 60 – 99,7:iin (SPS 2015). Alkoholin lämpötila voi olla maksimissaan 60 °C:tta säiliöissä, joihin on asennettu lämpöeriste. Eristettyjen säiliöiden ulkopinta on kuvan 4 mukainen. Kuvassa 3 on säiliö, jonka ulkovaippaa ei ole lämpöeristetty. Lämpöeristämättömän säiliön sisällä olevan alkoholin lämpötila mukailee ulkoilman lämpötilaa. Nopeat ulkoilman lämpötilamuutokset eivät välittömästi muuta alkoholin lämpötilaa johtuen säiliössä olevan alkoholin suuren litramäärän takia.

Etanolin ja isopropanolin leimahduspisteet ovat 13 ja 12 °C. Tulipalon syttymisen vaara on ilmeinen alkoholien lämpötilan ollessa leimahduspisteen yläpuolella. Syttymisvaarallisen alueen kokoon vaikuttaa syttymiskelpoisen höyry-ilmaseoksen muodostumisen nopeus ja tuulen suunta ja nopeus. Alkoholin ja ulkoilman lämpötilan noustessa myös alkoholin höyryntymisnopeus kasvaa. Etanoli- ja isopropanolihöyryn tiheys on suurempi kuin ilman tiheys. Tämän takia näistä alkoholeista muodostuvat höyry-ilmaseokset pysyvät lähellä vallitilan pohjaa tai maan pintaa. Tuuli levittää muodostunutta syttymiskelpoista kaasupilveä valitsevan tuulen suunnan mukaan. On mahdollista, että alkoholihöyryt voivat kulkeutua ja syttyä pitkähkönkin matkan päässä vallitilasta (OVA-ohje, käyttäjän opas).

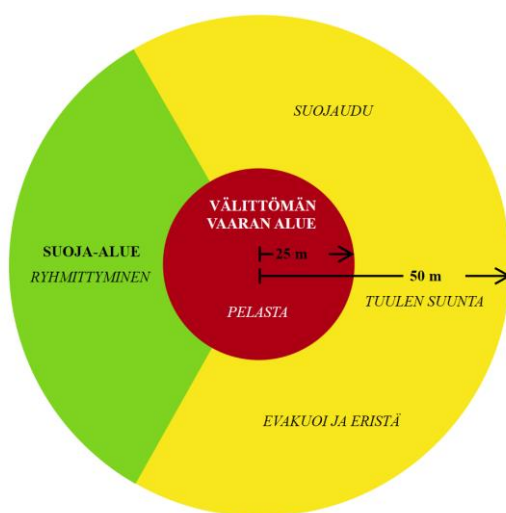
Syttymisen todennäköisyys on pieni, kun nesteen lämpötila on noin 10 °C leimahduslämpötilan alapuolella (OVA-ohje, käyttäjän opas). Ulkoilman lämpötila ei ole kaikissa vuototilanteissa verrannollinen alkoholin lämpötilaan. Säiliöiden eristeet vaikuttavat lämpötilaan, joten säiliössä oleva alkoholi voi olla huomattavasti lämpimämpää kuin ulkoilma. Alkoholin

vuotopaikka ja vuotavan nesteen lämpötila pitää selvittää, ennen kuin syttymisvaara voidaan arvioida, jos ulkoilman lämpötila on alle leimahduslämpötilan.

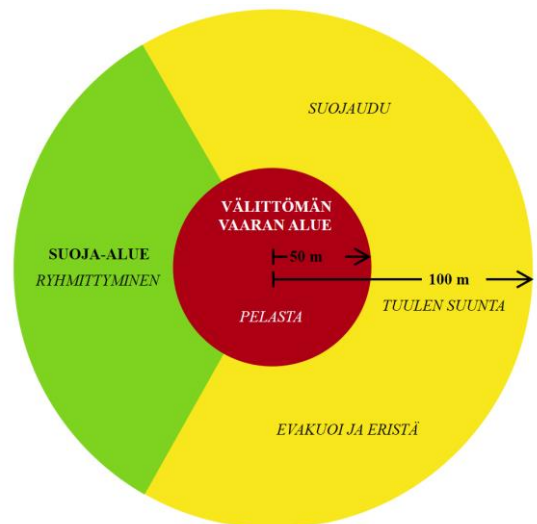
Syttymisvaarallinen alue voidaan todentaa mittareilla, jolloin saadaan suhteellisen luotettava tieto alueesta, jossa syttymiskelpoisia pitoisuuksia esiintyy. Vaara-alue voidaan myös arvioida olemassa olevien torjuntaohjeiden avulla.

Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet -turvallisuusohjeessa määritellään pienessä vuodossa (100 litraa) vaara-alueeksi 25 metriä vuodon lähteestä. Suuressa vuodossa (10 m<sup>3</sup>) vaara-alueeksi on määritelty 50 metriä kaikkiin suuntiin (OVA-ohje, isopropanoli).

Kuvat 9 ja 10 esittävät Tokeva 2020-torjuntaohjeissa määritellyt välittömän vaaran alueet sekä evakuointi ja vaara-alueet. (Tokeva 2020, Ohje T3b, Helposti syttyvät nesteet, syttymätön vuoto.)



Kuva 10. Vaara-alueen määrittely, syttymätön pieni vuoto (Tokeva 2020).



Kuva 9. Vaara-alueen määrittely, syttymätön suuri vuoto (Tokeva 2020).

Lammikoksi muodostuneen alkoholin syttyminen voidaan estää esimerkiksi vaahdottamalla tai vedellä laimentamalla. Vaahdotus voidaan tehdä kiinteästi asennetulla vaahtosammutusjärjestelmällä tai siirrettävällä vaahdotuskalustolla. Vaahdotteena on käytettävä alkoholin kestävä AR (Alcohol Resistant) vaahdotetta (Hyttinen ym. 2008, 116).

Syttymisen riskiä voidaan vähentää tai estää laimentamalla alkoholilammikkoa vedellä. Taulukossa 12 on etanoli-vesiseosten ominaisuuksia. Taulukosta voidaan havaita, että etanolin

tilavuusprosentin (til-%) ollessa 60 on leimahduspiste tuolloin 23,5 °C. Etanolin tilavuusprosentin ollessa 30 on leimahduspiste tuolloin 32,5 °C. Laimentamalla etanolia vedellä voidaan syttymiskelpoisten etanoli höyryjen muodostuminen estää. Laimentamisen tarve määräytyy ulkoilman lämpötilan mukaan. Varastosäiliöstä valunut alkoholi voi olla lämpötilaltaan jopa 60 °C. Laimentamisen jälkeen nesteen lämpötila on mitattava, jotta tiedetään, onko syttymisvaara saatu estettyä. Nesteen lämpötila tulee olla noin 10 °C leimahduspisteen alapuolella. Etanoli-vesiseoksen alkoholipitoisuus on myös varmistettava luotettavalla mittaus tavalla.

Taulukko 12. Etanoli-vesiseosten ominaisuuksia (Risto Lautkaski, sähköpostiviesti 21.12.2019).

til-%	paino-%	kp., °C	pal.lämpö, MJ/kg	lp, °C
5	4,0	96,2	-1,2	62
10	8,0	93,1	0,1	52
15	12,1	90,7	1,4	44
20	16,2	88,7	2,7	39
25	20,4	87,1	4,0	35,5
30	24,6	85,8	5,3	32,5
35	28,9	84,8	6,7	30
40	33,3	84,0	8,1	28
45	37,8	83,3	9,5	26,5
50	42,4	82,7	10,9	25
55	47,2	82,1	12,4	24
60	52,1	81,6	14,0	23,5

## 5.2 Säiliö- ja vallitilapalon vaikutukset

Vallitilaan valuneen alkoholin syttyminen voi aiheuttaa suuronnettomuuden CP Kelcon Oy:n Äänekosken tehtaalla (SPS 2015). Kappaleessa 4.1, kuvassa 7 on lämpösäteilyn tehotehtiheydeksi esitetty  $90 \text{ kW/m}^2$ . Kuvan käyrän mukaan lämpösäteilyn tehotehtiheys alkaa laskeamaan noin 15 metrin säteellä vallitan keskipisteestä. Noin 55 metrin etäisyydellä vallitilasta lämpösäteilyn tehotehtiheys laskee tasolle  $8 \text{ kW/m}^2$ . Tämä voi aiheuttaa rakenteiden tai laitteistojen syttymistä palamaan (Taulukko 7).

Palavien nesteiden säiliötarhan vieressä olevassa happojen ja emästen säiliötarhassa on kloorivetyhappoa (suolahappo 33 %) sisältävä säiliö. Säiliön tilavuus on  $147 \text{ m}^3$ . Säiliön materiaali on pääosin muovia ja lasikuitua. Säiliöön kohdistuva lämpö lisää kloorivetyhapon höyrörynpainetta. Säiliön yläosa, joka on nestepinnan yläpuolella, kuumenee nopeasti, koska lämpö ei pääse siirtymään nesteeseen. Säiliön rakenne heikkenee muovin lämmitessä ja säiliön sisäinen paine lisääntyy kloorivetyhapon lämmitessä. Tämä voi aiheuttaa säiliön hajoamisen, ja kuumaa kloorivetyhappoa roiskuu ympärille. (Risto Lautkaski, sähköpostiviesti 20.12.2019.)

Veteen liuotettua kloorivetyä alkaa haihtumaan pisaroista ja vallitilaan valuneesta lammiosta. Kloorivetykaasu-pisarapilvi on ilmaa raskaampi. Siitä muodostuu litteä pilvi, joka kulkeutuu tuulen mukana. OVA-ohjeen mukaan suurella vuodolla (noin  $10 \text{ m}^3$ ) välittömän vaaran alueen koko on noin 50 metriä tuulen yläpuolella. Tuulen alapuolella välittömän vaaran alue ulottuu noin 150 metrin päähän vuotokohdasta. OVA-ohjeen vaaraetäisyydet ovat arvioitu suolahapon (33 %) vuototilanteelle, jossa ulkoilman lämpötila vaikuttaa kloorivedyn haihtumiseen. Tulipalon lämpövaikutus lisää kloorivedyn haihtumista, joten vaara-alue on laajempi. Ilmatieteenlaitos on kehittänyt Escape-ohjelmaa, jolla vaara-alueen kokoa voidaan arvioida. Escape-ohjelmalla ei ole mahdollista mallintaa suolahaposta muodostuvan kloorivedyn vaara-aluetta. *Raskaan kaasun leviämismalli tarvitsee päästöä kuvaavan ns. lähdetermin. Escape:n lähdetermini mallintaa venttiilistä vuotavan paineenalaisen nesteytetyn kaasun höyrystymistä ja pisaroitumista.* (Risto Lautkaski, sähköpostiviesti 20.12.2019.)

Kuvassa 11 on palavien nesteiden säiliöitä ja vallitila kuvan vasemmassa reunassa. Kuvan oikeassa reunassa on suolahapon varastosäiliö. Suolahapposäiliön etäisyys palavien nesteiden vallitilan reunasta on noin 10 metriä. Vallitilojen välissä ylhäällä on putki- ja sähköjohdot.



Kuva 11. CP Kelco Oy:n suolahapposäiliön etäisyys palavien nesteiden vallitilasta.

Taulukossa 13 on suunnitteluarvo, jonka mukaan muovien maksimi lämpötilankesto on  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  tehutiheyden arvolla  $2\text{ kW/m}^2$ . Tämä tarkoittaa sitä, että muovisten säiliöiden sijoittelu ja suojaus tulisi järjestää siten, ettei edellä mainittuja suunnitteluarvoja ylitetä. Taulukossa 13 on vesivalelusuojauksella varustetun varastosäiliön suunnitteluarvoksi merkitty  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja  $38\text{ kW/m}^2$ . Tämä tarkoittaa, että vesivalelujärjestelmä suojaa varastosäiliötä lämpösäteilyltä, jonka tehutiheys on  $38\text{ kW/m}^2$ . Tällöin säiliön pinnan lämpötila ei nouse yli  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ :seen. (Mecklenburgh 1985, 516–518.)

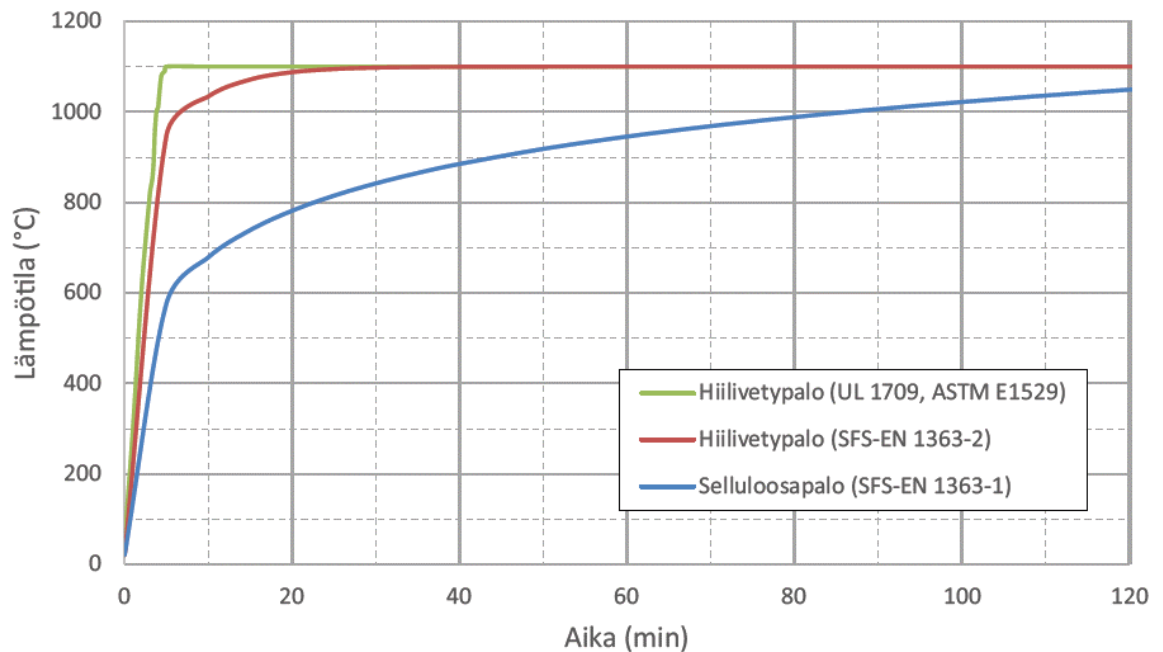
Taulukko 13. Lämpösäteilyn tehosiheyden suunnitteluarvoja (Risto Lautkaski, sähköpostiviesti 22.12.2019).

kohde	lämpötila, °C	tehotiheys, kW/m <sup>2</sup>
vesivaleltu varastosäiliö	90	38
laitteistot	550	30
erityisrakennukset	500	25
tavalliset rakennukset	390	14
kasvillisuus	330	10
muovit	120	2
poistumistiet, 30 s	65	6
palokunta, 30 min	40	3
turvallinen	25	1,5

Alkoholipalojen käyttäytymistä on tutkittu allaspalokokeissa. *Allaspalokokeissa altaan syttymiseen ja liekkiin kasvamiseen kului noin 2 minuuttia. Tämän jälkeen liekkien koko ja säteilyintensiteetti pysyivät ennallaan.* (Risto Lautkaski, sähköpostiviesti 22.12.2019.)

Vallitilassa tapahtuvassa alkoholipalossa lämpötilan nousu tapahtuu hyvin nopeasti. Liekkien keskilämpötila on noin 1100 °C niin kauan, kunnes alkoholin loppuminen alkaa rajoittaa palotehoa. Kuvassa 12 on hiilivetyjen palokäyrä SFS-EN 1363-2 ja yhdysvaltalainen palokäyrä UL 1709. Kuvassa oleva SFS-EN 1363-1 on selluloosapalokäyrä. Lammikkopaloihin käytetään SFS-EN 1363-2 palokäyrää. Jos säiliötarhan alueella on paineellisia (yli 5 bar) hiilivetyjen siirtoputkistoja, silloin UL 1709 palokäyrä kuvaa paremmin lämpötilojen nousua, koska pistoliekkiskenaario on mahdollista toteutua. Lämpöintensiteetti pistoliekin päässä voi olla 200 kW/ m<sup>2</sup>. (SFS 3350 2016.)





Kuva 12. Standardien UL 1709, SFS-EN 1363-1 ja SFS-EN 1363-2 määrittelemät palokäyrät. (SFS 3350 2016).

Varastosäiliöitä voidaan suojata tulipalon lämpöä vastaan eristeillä, jotka ovat läpäisseet testin. Kuvan 11 standardit määrittelevät testiuunin lämpötilakäyrät, joilla kivivillaeristeet testataan. A1-luokan kivivillaeriste kestää hyvin hiilivetypalossa esiintyvät lämpötilat. (Risto Lautkaski, sähköpostiviesti 21.12.2019.)

### 5.3 Alkoholipalon sammuttaminen vedellä

Alkoholipalon sammuttaminen vedellä on mahdollista, koska alkoholi ja vesi sekoittuvat hyvin keskenään. Veden sammutusvaikutus perustuu alkoholin laimentamiseen. Vettä johdetaan sumusuihkulla palavan nesteen sekaan. Tällöin vesihöyryt estävät palamisilman pääsemistä palaviin alkoholihöyryihin. (Hytinen ym. 2008, 91.)

Osa vedestä höyrystyy liekkien lämmön vaikutuksesta, ennen kuin se saavuttaa alkoholinessteen. Vesi sitoo lämpöä höyrystyessään, joten nestepalon aiheuttamaa lämpösäteilyä voidaan hallita vesisuihkujen avulla.

Alkoholipalon sammuttaminen vedellä on käytännössä mahdollista pienissä allaspaloissa (vallitila). Tarvittava vesivirtaama suihkuputkelle ja veden kokonaismäärä ovat yleensä rajoittavia tekijöitä alkoholipalojen vesisammutukselle. Vallitilan kokonaistilavuus voi olla

myös rajoittava tekijä, koska veden määrä pitää olla moninkertainen palavan alkoholin määrään verrattuna (kappale 5.1, taulukko 12).

Laskennallinen sammutusvesivirta alkoholipalon sammuttamiseen on  $0,4 \text{ l/s/m}^2$  (Hyttinen ym. 2008, 205). Laskennallisesti vallitilassa palava alkoholin lammikkopalo, jonka koko on  $100 \text{ m}^2$ , tarvitsee sammutusvesivirran  $40 \text{ l/s}$ . Sammutusvesivirta minuutissa on 2400 litraa.

#### 5.4 Alkoholipalon sammuttaminen vaahdolla

Sammutusvaahdot ovat tehokkaimpia palavien nesteiden sammutteita. Niiden sammutusvaikutus perustuu jäähdytykseen ja tukahdutukseen. Vaahdon sisältämä vesi ja kalvovaahdon nestekalvo jäähdyttävät tehokkaasti palavan nesteen pintaa. Vaahdon tukahdutusvaikutus perustuu vaahdon tekemään kalvoon palavan nesteen pintaan. Kalvo estää palavan nesteen höyryjen muodostumisen. Vaahtopatjan sisältämät ilmakuplat toimivat eristeenä, jolloin liekit eivät pääse lämmittämään nestettä. Nesteen jäähtyessä höyryjen muodostus vähenee. (Hyttinen ym. 2008, 122 - 123.)

Alkoholit ovat poolisia nesteitä, eli ne sekoittuvat hyvin veteen. Alkoholit imevät vettä itseensä. Sammutusvaahdon ilmakuplien seinämät ovat lähes kokonaan vettä. Alkoholi imee vaahdosta veden, jolloin vaahtokuplat hajoavat. Tästä syystä alkoholipalojen sammuttamiseen ja suojavaahdotusten tekemiseen on käytettävä AR-vaahdotetta (Alcohol Resistant). AR-vaahdotteessa on pitkäketjuisia polysakkarideja, joiden avulla vaahdosta saadaan alkoholin kestävä. (Hyttinen ym. 2008, 116.)

Sammutusvaahto on huomattavasti kevyempää kuin alkoholi. Etanolin ja isopropanolin tiheys on noin 0,8. Veden tiheys on 1. Tämä tarkoittaa, että  $1 \text{ m}^3$  etanolia tai isopropanolia painaa 800 kg. Sammutusvaahdon paino riippuu sen vaahtoluvusta. *Vaahtoluku ilmoittaa, kuinka moninkertainen on vaahdon tilavuus verrattuna sen muodostamiseen käytetyn vaahtoliuoksen tilavuuteen. Kun vaahtoluku on 10, niin yhdestä litrasta vaahtoliuosta tulee 10 litraa vaahtoa* (Hyttinen ym. 2008, 111).

Taulukossa 14 on sammutusvaahdot jaoteltu vaahtoluvun perusteella. Vaahtoluku ilmoittaa, kuinka monta litraa vaahtoa tulee yhdestä litrasta vaahtoliuosta. Vaahtoliuos muodostuu veden sekoitettavasta vaahtotteesta. Vaahtotteen osuus vaahtoliuksesta on yleensä 1 - 6 %.

Vaahtoliuoksesta muodostuu vaahtoa vaahtonkehittimessä, jolloin vaahtoliuokseen sekoitetaan ilmaa. Ilmakuplien ja vaahtoliuoksen suhdelukua merkitään vaahtolukuna (Hyttinen ym. 2008, 111).

Taulukko 14. Vaahtolaji ja vaahtoluku (Hyttinen ym. 2008, 112).

<u>Vaahtolaji</u>	<u>Vaahtoluku</u>
raskasvaahto	alle 20
keskivaaho	20-200
kevytvaaho	yli 200

Palavan nesteen säiliön tai vallitilan suojavaahdotukseen ulkotiloissa käytetään keski- tai raskasvaahtoa (SFS 3357 2017). Suojavaahdotus tehdään syttymättömälle vuodelle, joten siirrettäviä keskivaahdon kehittämiä on mahdollista käyttää, koska lämpösäteilyn vaikutusta ei esiinny.

Palavan nesteen säiliön tai vallitilan tulipalon sammutuksessa käytetään yleensä raskasvaahtoa. Raskasvaahto muodostaa matalamman vaahtopatjan kuin keskivaaho. Raskasvaahtoa voidaan tehdä kiinteällä vaahtosammutusjärjestelmällä tai siirrettävällä vaahtokalustolla, esimerkiksi vaahtotykillä.

Alkoholipalojen sammutuksessa tulisi käyttää niin sanottua pehmeää vaahton levitystapaa. Pehmeässä syöttötavassa vaahto ei sukella alkoholinesteeseen. Vaahtotykillä vaahtotettaessa vaahton pitää osua ensin esimerkiksi säiliön vaippaan, josta se valuu vallitilaan ja jää alkoholinesteen pinnalle. (Hyttinen ym. 2008, 113.)

Raskaassa vaahton levitystavassa vaahto sukeltaa alkoholinesteeseen, mikä aiheuttaa alkoholin roiskumista. Vaahtopatja nousee alkoholin pinnalle, mutta se ei muodosta yhtenäistä vaahtopatjaa niin nopeasti kuin pehmeällä levitystavalla levitetty vaahto. Levitystapa vaikuttaa vaahton sammutusvaikutukseen. (Hyttinen ym. 2008, 113.)

Kappaleessa 4.3 olevan taulukon 11. mukaan kiinteästi asennetun vallitilan vaahtolaitteiston minimi vaahtoliuosvirtaama on 4.1 litraa minuutissa vallitilan neliometriä kohden. Siirrettäviä laitteistoja käytettäessä on minimi vaahtoliuosvirtaama 6.5 litraa minuutissa val-

litalan neliömetriä kohden. Molemmissa vaahdotusmenetelmissä on varauduttava 20 minuutin yhtäjaksoiseen vaahdotukseen. Tämä aika vaikuttaa vaahtonesteen varastointimäärään. (NFPA 11 2016.)

CP Kelcon Äänekosken tehtaan vallitilan vapaa neliömäärä on noin 600 neliömetriä. SFS 3357 -standardin mukaan tulipalon sammuttamiseen tarvitaan vaahtoliuosvirtaa 8 litraa minuutissa yhtä neliömetriä kohden (kappale 4.3, taulukko 9). Kun tämä luku kerrotaan vallitilan neliömäärällä 600, saadaan vaahtosammutuslaitteistolle vaadittava suunnitteluarvo. Sammutukseen tarvittava vaahtoliuoksen määrä on CP Kelcon tapauksessa noin 4800 litraa minuutissa. SFS-standardissa ei ole erillistä vaahtoliuosvirtaaman suunnitteluarvoa siirrettäville vaahtosammutuskalustoille.

NFPA 11-standardin vaatimusten mukaan vastaava vaahtoliuosvirtaama CP Kelcon palavien nesteiden säiliötarhan vallitilan tulipalon sammutuksessa on seuraava:

$$6,5 \text{ l/min} * 600 \text{ m}^2 = 3900 \text{ l/min.}$$

## 5.5 Sammutusjätevesien hallinta

Tuotantolaitoksen alueella tapahtuvan tulipalon sammutuksessa laitteistojen jäähdytyksessä ja kemikaalien laimentamisesta muodostuvien sammutusjätevesien hallinnasta vastaa toiminnanharjoittaja. Sammutusjätevesiä pitää pystyä hallitsemaan niin, etteivät ne aiheuta maaperän tai vesistön pilaantumista. Sammutusjätevedet eivät saa aiheuttaa vahinkoa myöskään jätevedenpuhdistamolle. Tuotannonharjoittajalla pitää olla suunnitelmat ja menetelmät, miten sammutusjätevesiä hallitaan ja miten ne tehdään vaarattomaksi. (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012, 77 §.)

Tulipalon tai kemikaalien torjunnasta syntyvien sammutusjätevesien hallitsemiseksi on toiminnanharjoittajan järjestettävä veden talteenottojärjestelmä. Järjestelmä voi olla kiinteästi rakennettu tai siirrettävä laitteisto, joka voidaan ottaa käyttöön riittävän nopeasti onnettomuustilanteen aikana. Veden talteenottojärjestelmä pitää mitoittaa siten, että suurimman säiliön, vallitilan tai tuotantotilan sammuttamiseen tarvittava vesimäärä voidaan kerätä talteen. (Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012, 77 §.)

Palavien nesteiden sammuttamiseksi käytetään yleisesti vettä ja vaahdotetta. Tarvittavan veden ja vaahdotteen määrä on riippuvainen tulipaloon osallistuvien palavien nesteiden määrästä, palon pinta-alasta ja palokohteen saavutettavuudesta.

Palavien nesteiden palojen sammuttaminen voi tuottaa sammutusjätevesiä, jotka ovat ympäristölle ja jätevedenpuhdistamolle haitallisia. Sammutusjätevedelle on oltava talteenottojärjestelmä, joka pystyy keräämään suurimman paloskenaarion tuottamat jätevedet talteen. Mitoitustalut on tehtävä neljän tunnin sammutuksessa käytettävän vesi ja vaahtomäärän mukaan. Sammutusjätevedet pitää analysoida, jotta ne voidaan käsitellä niin kuin ympäristönsuojelun määräykset velvoittavat. (SFS 3357 2017.)

## 5.6 Sammutusjätevesien hallintaan soveltuvia välineitä ja menetelmiä

Vaahtopatjan liikkumisen estäminen.

Halusin tutkia menetelmiä ja välineitä, joilla vaahtopatjan liikkumista voidaan estää tai hallita. Cp Kelcon tuotantolinjoilla olevat automaattiset vaahtosammutusjärjestelmät tuottavat lauetessaan hyvin nopeasti ja runsaasti vaahtoa. Vaahtopatja pysyy rakennuksen sisällä niin kauan, kunnes tuotantolinjan ovia avataan. Ovet joutuu avaamaan viimeistään pelastuslaitos, jotta tiloja voidaan tiedustella ja varmistaa. Tällöin vaahtopatja vyöryy ulos ja leviää asfalttipihalle kohti vesistöä. Vaahto kulkeutuu myös sadevesiviemäriin, joista on suora yhteys Kuhnamojärveen.

Palavien nesteiden säiliötarhan vallitilan eli suoja-altaan ja säiliöiden vaahtosammutusjärjestelmä tuottaa myös hyvin nopeasti vaahtoa. Vaahton on tarkoitus pysyä suoja-altaan sisällä koko sammutustoiminnan ajan. On kuitenkin mahdollista, että suoja-altaan korkeus ei riitä pitämään vaahtoa altaassa, joten vaahto vyöryy yli reunuksen. Suoja-altaan välittömässä läheisyydessä on piha-alueen sadevesikaivoja, joihin vaahto kulkeutuu hyvin nopeasti. Tämän seurauksena vaahdotteet päätyvät Kuhnamojärveen.

Testasimme vaahdotteen läpäisykykyä eri silmäkoon metalliverkkoista. Tehtaan henkilökuntaan kuuluvat henkilöt valmistelivat käytännön testin, joka tehtiin 14.8.2019 suoja-altaassa. Halusimme saada selville, minkä kokoinen silmäkoko verkossa ei läpäise vaahtoa. Asettelimme viisi eri silmäkoolla olevaa verkkoa vierekkäin kuormalavojen päälle vaakata-

soon. Vaakatasoon verkot laitettiin siksi, että niiden päälle on helppo laittaa vaahtoa ja vaahdon läpäisyä oli helppo seurata. Lisäksi meillä oli ajatus, että jos vaahto ei läpäise vaakatasossa olevaa verkkoa, ei se todennäköisesti läpäise myöskään pystyyn asennettua verkkoa. Verkkojen silmäkoot olivat 10 mm, 8 mm, 3 mm, 1,5 mm ja 0,8 mm.

Teimme testin kahdella eri vaahdolla. Testi 1 suoritettiin MOUSSOL®-APS LV 1x1 AFFF-AR-tyypin vaahdolla ja testi 2 BIO FILMOPOL 3 AFFF-AR-tyypin vaahdolla. Äänekosken tehdas käyttää molempia vaahtoja vaahtosammutusjärjestelmissä. Vaahdon tekemiseen käytettiin LEADER UPRIM MX-vaahdonkehittintä. Käytimme kahta eri vaahdonketintä, koska MOUSSOL®-APS LV 1x1- vaahtoneste sekoitetaan veteen 1 % seossuhteella ja BIO FILMOPOL 3-vaahdoneste sekoitetaan veteen 3 % seossuhteella. Vaahdonkehittämiin oli asennettu eri kokoiset sekoitussuuttimet ennen testiä.

Testit dokumentoitiin kameralla, joka otti valokuvia 15 sekunnin välein. Aika mitattiin sekuntikellon avulla ja havainnot kirjoitettiin paperille. Testin jälkeen muistiinpanot kirjoitettiin taulukoihin, jotka ovat liitteenä (Liite 1 ja 2).

Testi 1. aloitettiin tekemällä vaahtoa suoja-altaan pohjalle. Halusimme varmistaa, että vaahdonkehitin muodostaa hyvää vaahtoa. Päätimme siirtää vaahtoa verkkojen päälle lumilapion avulla. Emme halunneet vaahdon valuvan verkkojen reunan yli, koska se olisi vaikeuttanut verkon läpi menevän vaahdon havaitsemista. Teimme ensimmäiset havainnot heti, kun vaahtopatja oli verkkojen päällä. 10 mm ja 8 mm silmäkoolla olevat verkot eivät pidättäneet vaahtoa. 3 mm silmäkoon verkon läpi meni vähäisessä määrin vaahtoliuosta noin 20 sekunnin kuluttua testin aloittamisesta. Aikaa oli kulunut testin aloittamisesta noin 16 minuuttia ja 20 sekuntia, kun totesimme, että kaksi pienintä silmäkokoa eivät olleet päästäneet vaahtoa läpi testin aikana. 3 mm silmäkoon verkolla oli myös ehjä vaahtopatja. Päätimme lisätä vaahtoa verkkojen päälle suoraan vaahdonkehittimellä. Havainnot vaahdon läpäisystä olivat samat kuin testin aloitusvaiheessa. 10 mm ja 8 mm silmäkoot eivät kantaneet vaahtopatjaa vaan vaahto valui verkon läpi. 3 mm ja 1,5 mm ja 0,8 mm silmäkoon verkoilla vaahtopatja säilyi silmin nähden ehjänä. Lopetimme testin 1, kun aikaa oli kulunut 21 minuuttia vaahdotuksen aloittamisesta. Pesimme vaahdot pois verkkojen päältä ja testialueen lähistöltä.

Testi 2. aloitettiin tekemällä vaahtoa vallitilan pohjalle. Vaahdon koostumuksen ollessa silminnähden moitteetonta teimme vaahtopatjan verkkojen päälle suoraan vaahdonkehittimellä. Havaitsimme vaahdon olevan tiiviimpää kuin testissä 1. Ajattelimme tämän johtuvan seossuhteesta (3 %). Havainnot vaahdon läpäisyajoissa olivat saman kaltaiset kuin testissä

1. Testissä 2. vaahto läpäisi 10 mm ja 8 mm silmäkoon verkot alle 10 sekunnissa. 3 mm silmäkoon verkon läpi valui hieman vaahtoliuosta kolmen ja puolen minuutin kuluttua vaahtoutuksen aloittamisesta. Testi lopetettiin, kun aikaa oli kulunut 50 minuuttia vaahtoutuksen aloittamisesta. Havainnot olivat selkeät. 10 mm ja 8 mm silmäkoon verkoilla ei ollut yhtään vaahtoa. 3 mm, 1,5 mm ja 0,8 mm silmäkoon verkoilla oli edelleen ehjät vaahtopatjat.

Kuvassa 13 ovat vaahtotestiin käytettävät verkot. Verkot asetettiin laatikoiden ja kuormalaivojen päälle, jotta pystyimme havaitsemaan vaahton läpäisyn verkon läpi paremmin.



Kuva 13. Testi vaahton läpäisy verkoista 14.8.2019.

Kuvassa 14 voidaan havaita vaahdon läpäiseminen eri kokoisten verkonsilmäkokojen läpi. Verkkojen silmäkoot vasemmalta oikealle ovat 8 mm, 3 mm, 10 mm, 1,5 mm ja 0,8 mm



Kuva 14. Testi vaahdon läpäisy verkoista 14.8.2019.



## 6 TOIMINTAOHJEKORTIT

Tämän työn yksi tavoite oli tehdä toimintaohjekortit CP Kelcon henkilöstölle ja pelastuslaitokselle. Toimintaohjeiden sisältö on hieman erilainen pelastuslaitoksen kortissa kuin CP Kelcon kortissa. Eroavaisuudet korteissa ovat alkutilanteen tunnistamisessa ja prosessin alajasssa palavien nesteiden säiliötarhaan liittyvien toimintojen osalta. Vaahtosammutuslaitteiston käyttö kuuluu myös tehtaan henkilökunnan toimenpiteisiin. Säiliöiden vesivalelun päälle voi kytkeä päälle tehtaan henkilökunta tai pelastuslaitos omin toimenpitein.

Tehtaan henkilökunta on tehnyt useita CP Kelcon tuotantoon liittyviä ohjekortteja. Nämä kortit sisältävät valokuvia eri laitteistoista. Ohjekortit ovat hyvin informatiivisia ja selkeitä. Tämä opinnäytetyö on julkinen, joten tuotantolaitteistoihin liittyvää kuvamateriaalia ei tähän työhön voida liittää. Sovimme CP Kelcon edustajan kanssa, että kirjoitan sanallisen kuvauksen toimintaohjekortteihin huomioitavista asioista. Tehtaan henkilökunta valmistaa kuvalliset toimintaohjeet tämän opinnäytetyön valmistuttua.

Käytän toimintaohjeiden kirjoittamisen perusteina tässä työssä esiin tulleita asioita, tehdaskäynneillä tehtyjä havaintoja sekä pelastustoimen tehtävillä saamiani kokemuksia. Tarkoitus ei ole kirjoittaa ehdottomasti noudatettavaa työohjetta. CP Kelco Oy ja pelastuslaitos voivat käyttää näitä toimintaohjeita tarpeelliseksi katsomallaan tavalla.

CP Kelcon sekä pelastuslaitoksen toimintaohjeissa on kuvattu tilanteet *pieni syttymätön vuoto, suuri syttymätön vuoto, koko vallitilan pohjan alueelle levinnyt vuoto sekä tulipalo vallitilassa ja säiliöissä*. Toimintaohjeet perustuvat tällä hetkellä käytössä oleviin laitteistoihin tai järjestelmiin. Liekki-ilmaisimien suunniteltu asennusaika on vuoden 2020 alkupuolella, joten ne sisältyvät käytössä oleviin järjestelmiin. Toimintaohjeissa ei eritellä etanolin tai isopropanolin vuoto- tai tulipalotilanteita.

Lammikon koko on tässä ohjeessa ja suuntaa antava. Vallitilan pohja on kalteva, joten lammikko ei muodostu ympyränmuotoiseksi. Vallitilan kaivo sijaitsee säiliöautojen purkupaikan puoleisella sivulla. Vallitilan kaivon tilavuus on noin 1 m<sup>3</sup>. Jos kaivossa ei ole sadevettä, pienet alkoholien vuodot mahtuvat kaivoon, jolloin lammikon halkaisija on noin 1 metri.

Vallitilaan vuotanut alkoholi on aina poikkeama tilanne tuotantoprosessissa. Syttymätön alkoholivuoto ei aiheuta suuruusluokaltaan samanlaisia vahinkoja laitteistoille ja tehtaan tuotannolle kuin säiliötarhan vallitilassa syttynyt alkoholipalo. Syttymättömän alkoholivuodon

torjuntaan tulisi osoittaa riittävät henkilöresurssit, jotta alkoholin syttymisvaara saadaan poistettua mahdollisimman nopeasti.

Alkoholipalosta johtuviin seurauksiin vaikuttaa lammikkopalon koko ja se, kuinka nopeasti tulipalo saadaan sammumaan. Lammikkopaloa edeltää aina alkoholin vuototilanne. Syttymätön alkoholivuoto voi syttyä hyvinkin nopeasti, jos nesteen lämpötila on yli leimahduslämpötilan. Syttymisen voi aiheuttaa ulkoinen energia tai staattisen sähköön purkauspina.

Kaikissa toimintaohjekorteissa kuvatuissa tilanteissa on torjuntatoimet aloitettava välittömästi. Toimintaohjeissa kuvattuja toimenpiteitä voidaan tehdä samanaikaisesti, jolloin alkoholivuoto- tai tulipalotilanne saadaan nopeammin hallintaan.

## 6.1 Toiminnaharjoittajan toimintaohjekortti

### *Pieni syttymätön vuoto*

Lammikon halkaisija on 1 - 5 metriä. Vuotaneen aineen määrä arviolta 100 - 2000 litraa. Hälytys on voinut tulla vallitilan hiilivetyilmaisimesta valvomoon tai henkilökunta on havainnut alkoholin hajua säiliötarhan läheisyydessä. Liekki-ilmaisoin ei ole hälyttänyt.

Suljetaan säiliötarhaan tulevien ja sieltä lähtevien alkoholiputkien venttiilit sekä sammutetaan pumput.

Estetään henkilöiden pääsy säiliötarhan läheisyyteen. Eristysalueen halkaisija 25 metriä vuotaneen aineen lammikosta. Mitataan syttymisvaaramittarilla ja varmistetaan, ettei eristysalueen ulkopuolella esiinny syttymiskelpoisia ilmaseoksia.

Vaahtosammutuskeskus on miehitettävä, jotta vallitilan vaahdotus saadaan nopeasti aloitettua, jos vallitilassa syttyy tulipalo. Palovesipumppaamo on miehitettävä pumppujen toiminnan varmistamiseksi.

Alkoholilammikon syttymisen estäminen voidaan tehdä vaahdolla tai vedellä. Syttymisen estämisen tarve perustuu etanolin ja isopropanolin leimahduslämpötiloihin. Leimahduslämpötilat ovat etanolilla 13 °C ja isopropanolilla 12 °C. Näiden lämpötilojen ylittyessä nesteistä höyrystyy syttymiskelpoisia ilmaseoksia. Välitöntä syttymisvaaraa ei ole nesteen ollessa noin 2 °C tai kylmempää.

Alkoholien leimahduslämpötila nousee, kun alkoholeja laimennetaan vedellä (taulukko12). Vettä saadaan vallitilaan säiliöiden vesivalujärjestelmästä noin 9600 litraa minuutissa.

Mittaamalla nesteen alkoholipitoisuus (tilavuus %) varmistutaan laimennuksen riittävydestä ja pois suljetaan syttymisen mahdollisuus. Vallitsevan ilmanlämpötilan ja nesteen lämpötilan on oltava vähintään 10 °C matalampi kuin alkoholin leimahduspiste (mitattu tilavuus-%).

Vesialkoholiseos voidaan pumpata vallitilasta irtosäiliöihin. Irtosäiliöitä on noin 20 kappaletta. Yhden säiliön tilavuus on noin 1000 litraa. Vesialkoholiseos voidaan pumpata säiliötarhan pumppaamon kautta takaisin vuotamattomiin säiliöihin. Vesi poistetaan alkoholista tislamossa ja alkoholi palautuu takaisin tuotantoon. Ennen pumppaustoiminnan aloittamista pitää potentiaalitasaus olla kytkettynä ja alkusammutuskalusto valmiina pumppausalueen läheisyydessä.

#### *Suuri syttymätön vuoto*

Lammikon halkaisija on 5 - 10 metriä. Vuotaneen aineen määrä arviolta alle 15 m<sup>3</sup>. Hälytys on voinut tulla vallitilan hiilivetyilmaisimesta valvomoon tai henkilökunta on havainnut alkoholin hajua säiliötarhan läheisyydessä. Liekki-ilmaisim ei ole hälyttänyt.

Suljetaan säiliötarhaan tulevien ja sieltä lähtevien alkoholiputkien venttiilit sekä sammutetaan pumput.

Estetään henkilöiden pääsy säiliötarhan läheisyyteen. Eristysalueen halkaisija 50 metriä vuotaneen aineen lammikosta. Mitataan syttymisvaaramittarilla ja varmistetaan, ettei eristysalueen ulkopuolella esiinny syttymiskelpoisia ilmaseoksia.

Hälytetään pelastuslaitos varmistamaan, että alkoholilammikon syttymisvaara saadaan poistettua.

Vahtosammutuskeskus on miehitettävä, jotta vallitilan vaahdotus saadaan nopeasti aloitettua, jos vallitilassa syttyy tulipalo. Palovesipumppaamo on miehitettävä pumppujen toiminnan varmistamiseksi.

Alkoholilammikon syttymisen estäminen voidaan tehdä vaahdolla tai vedellä. Syttymisen estämisen tarve perustuu etanolin ja isopropanolin leimahduslämpötiloihin. Leimahduslämpötilat ovat etanolilla 13 °C ja isopropanolilla 12 °C. Näiden lämpötilojen ylittyessä, nesteistä höyrystyy syttymiskelpoisia ilmaseoksia. Välitöntä syttymisvaaraa ei ole, nesteen ollessa noin 2 °C tai kylmempää.

Leimahduslämpötila nousee, kun alkoholeja laimennetaan vedellä (taulukko12). Vettä saadaan vallitilaan säiliöiden vesivalujärjestelmästä noin 9600 litraa minuutissa.

Vesivalujärjestelmä on avattava mahdollisimman nopeasti, jotta syttymisvaara saadaan poistettua. Ilman lämpötilan ollessa alle 0 °C ja alkoholinesteen ollessa noin 2 °C tai kylmempää, voidaan laimentaminen lopettaa. Tuotannosta säiliöön palautuva alkoholi voi olla jopa 60 °C, joten se on erittäin hyvin höyrystyvää ja syttymisherkkää. Ulkoilman lämpötilan perusteella syttymisvaaraa ei voi arvioida. Aina on varmistettava alkoholin lämpötila.

Mittaamalla nesteen alkoholipitoisuus (tilavuus-%) varmistutaan laimennuksen riittävästä ja pois suljetaan syttymisen mahdollisuus. Vallitsevan ilmanlämpötilan ja nesteen lämpötilan on oltava vähintään 10 °C matalampi kuin alkoholin leimahduspiste (mitattu tilavuus-%).

Vesialkoholiseos voidaan pumpata vallitilasta irtosäiliöihin. Irtosäiliöitä on noin 20 kappaletta. Yhden säiliön tilavuus on noin 1000 litraa. Jos pumpattavan vesialkoholiseoksen määrä on yli 20 m<sup>3</sup>, palavien nesteiden säiliöauton tilaamista kannatta harkita. Säiliöauton avulla vallitila saadaan nopeammin tyhjäksi. Vesialkoholiseos voidaan pumpata säiliötarhan pumpaamon kautta takaisin vuotamattomiin säiliöihin. Vesi poistetaan alkoholista tislaamossa ja alkoholi palautuu takaisin tuotantoon. Ennen pumppaustoiminnan aloittamista pitää potentiaalitasaus olla kytkettynä ja alkusammutuskalusto valmiina pumppausalueen läheisyydessä.

#### *Koko vallitilan pohjan alueelle levinnyt vuoto*

Lammikon koko on noin 600 m<sup>2</sup>. Vuotaneen aineen määrä arviolta 50 - 490 m<sup>3</sup>. Hälytys on voinut tulla vallitilan hiilivetyilmaisimesta valvomoon tai henkilökunta on havainnut alkoholin hajua säiliötarhan läheisyydessä. Liekki-ilmaisina ei ole hälyttänyt.

Suljetaan säiliötarhaan tulevien ja sieltä lähtevien alkoholiputkien venttiilit sekä sammutetaan pumpput.

Hälytetään pelastuslaitos varmistamaan, että alkoholilammikon syttymisvaara saadaan poistettua ja varautumaan mahdolliseen tulipaloon.

Estetään henkilöiden pääsy säiliötarhan läheisyyteen. Eristysalueen halkaisija 50 metriä vallitilan reunasta. Mitataan syttymisvaaramittarilla ja varmistetaan, ettei eristysalueen ulkopuolella esiinny syttymiskelpoisia ilmaseoksia.

Vaahdotetaan vallitila vaahtosammutuslaitteiston avulla. Vaahdotuksen voi lopettaa, kun koko vallitilan alueella on tasainen vaahtopatja. Vaahdotusaika on noin 5 minuuttia. Vaahtoa ei saa päästää vyörymään vallitilan reunan yli. Vaahto valuu sadevesiviemäriin ja kulkeutuu Kuhnamojärveen. Vaahdon kulkeutuminen vesistöön on pyrittävä estämään sulkemalla sadevesikaivot sulikutulpilla.

Palovesipumppaamo on miehitettävä pumppujen toiminnan varmistamiseksi.

Vaahdotusta on jatkettava, kun vaahtopatja ohenee (vaahdon puoliintumisaika). Vaahtopatjan on oltava ehjä siihen saakka, kunnes vallitila on tyhjennetty alkoholista.

Alkoholia, jossa on ollut vaahtopatja päällä, ei voi käyttää enää tuotannossa. Alkoholi pitää kuljettaa säiliöautolla tarkoituksen mukaiseen jätteen käsittelypaikkaan. Alkoholi voidaan pumpata pois vallitilasta säiliöauton avulla ja siirtää väliaikaisesti ehjään säiliötarhan säiliöön, jolloin se ei aiheuta enää varaa. Ennen pumppaustoiminnan aloittamista pitää potentiaalitasaus olla kytkettynä ja alkusammutuskalusto valmiina pumppausalueen läheisyydessä.

#### *Tulipalo vallitilassa ja säiliössä*

Vallitilaan on valunut alkoholia ja se on syttynyt palamaan. Alkoholin määrä voi olla 10 - 490 000 litraa. Liekki-ilmaisim on havainnut tulipalon ja antanut hälytyksen valvomoon. Tulipalon havaitsee henkilökunta, jos hiilivetyilmaisim ja liekki-ilmaisim eivät ole reagoineet vuotoon ja tulipaloon. Alkoholipalon lämpötila nousee parissa minuutissa 800 - 1100 °C:seen. Tämän jälkeen lämpötila ja lämpösäteilyintensiteetti eivät muutu, kunnes alkoholi on palanut loppuun tai tulipalo on sammutettu vaahdolla.

Tulipalon lämpösäteilyvaikutus aiheuttaa vaurioita vallitilaa läheisyydessä oleville sähkö- ja putkilinjoille ja suolahapposäiliölle, jos alkoholipalo on koko vallitilan alueella. Suolahapposäiliön hajoaminen aiheuttaa myrkyllisen kaasupilven (kloorivety), joka leviää tuulen mukana useita satoja metrejä. Tehdasalueella työskenteleviä ihmisiä on varoitettava ja vaara-alueelta poistuttava. Myrkyllinen kaasupilvi leviää noin 40 asteen sektorissa tuulen suuntaan.

Suljetaan säiliötarhaan tulevien ja sieltä lähtevien alkoholiputkien venttiilit sekä sammutetaan pumput. Varaudutaan tehtaan tuotantoprosessin hätäalasajoon.

Estetään henkilöiden pääsy säiliötarhan läheisyyteen. Eristysalue ulkona 100 metriä vallitilan reunasta, koska lämpösäteily on kova ja palamisesta syntyy myrkyllisiä yhdisteitä.

Vaahdotetaan vallitila ja eristämättömät säiliöt vaahtosammutuslaitteiston avulla. Paloveisipumppaamo on miehitettävä pumppujen toiminnan varmistamiseksi.

Säiliöiden vesivalelu pitää kytkeä päälle. Lämpösäteily voi estää henkilöstön pääsyn venttiilille. Jos henkilökunta ei voi avata venttiiliä turvallisesti, venttiili avataan pelastuslaitoksen toimenpiteenä.

Tehtaan palokalustoa tarvitaan pelastuslaitoksen käyttöön, jos tulipalo ei ole sammunut vaahtosammutuslaitteiston avulla pelastusyksiköiden saapuessa tehtaan alueelle. Vallitilan vaahdotus vaahtosammutuslaitteiston avulla kestää noin viisi minuuttia. Pelastuslaitos tarvitsee käyttöönsä siirrettävän vaahtotykin ja vaahdotetta 60 litraa minuutissa. Lisäksi tarvitaan vesiseiniä, joiden avulla suolahapposäiliötä ja sähkö- ja putkilinjoja suojataan lämpösäteilyn vaikutukselta.

Asfalttipihalla olevat sadevesiviemäreiden kannet on tukittava vuodonsulkumatoilla tai sulikutulpilla mahdollisimman nopeasti. Vaahtonesteen pääsy viemäriin on estettävä.

Vaahdotusta on jatkettava, kun vaahtopatja ohenee (vaahdon puoliintumisaika). Vaahtopatjan on oltava ehjä siihen saakka, kunnes vallitila on tyhjennetty alkoholista.

Tulipalon vaikutuksesta kuumentuneen alkoholin on annettava jäähtyä vaahtopatjan alla ennen vallitilan tyhjennystä. Alkoholin höyrystyminen alkaa välittömästi, jos vaahtopatja rikkoutuu. Tehtaan edustajan ja pelastustoiminnan johtajan on tehtävä suunnitelma, mihin vallitilassa oleva alkoholin ja vaahtoliuoksen seos voidaan turvallisesti varastoida ennen lopullista sijoituspaikkaa.

## 6.2 Pelastuslaitoksen toimintaohjekortti

### *Pieni syttymätön vuoto*

Vuotanut aine on helposti syttyvää. Säiliötarhassa varastoidaan etanolia ja isopropanolia. Aineiden leimahduspisteet ovat 13 ja 12 °C. Etanoli ja isopropanoli kuuluvat alkoholiryhmään. Tehtaan henkilöstö käyttää usein nimitystä liuotin.

Lammikon halkaisija on 1 - 5 metriä. Vuotaneen aineen määrä arviolta 100 - 2000 litraa. Hälytys on voinut tulla vallitilan hiilivetyilmaisimesta valvomoon tai henkilökunta on havainnut alkoholin hajua säiliötarhan läheisyydessä. Liekki-ilmaisoin ei ole hälyttänyt. Henkilökunta on tehnyt hätäilmoituksen. Tehtävälle tarvittava pelastustoimen resurssi on sammu-tusauto ja säiliöauto.

Välittömän vaaran alue on 25 metriä vallitilan reunasta. Mitataan syttymisvaaramittarilla ja varmistetaan, ettei eristysalueen ulkopuolella esiinny syttymiskelpoisia ilmaseoksia. Suojaustaso paloasu ja paineilmalaitte.

Varmistetaan tehtaan valvomosta, että säiliötarhaan tulevien ja sieltä lähtevien alkoholiputkien venttiilit ovat suljettu sekä pumput sammutettu.

Vahtosammutuskeskus on miehitettävä tehtaan henkilöstöllä, jotta vallitilan vaahdotus saadaan nopeasti aloitettua, jos vallitilassa syttyy tulipalo. Palovesipumppaamo on miehitettävä tehtaan henkilöstöllä pumppujen toiminnan varmistamiseksi.

Alkoholilammikon syttyminen voidaan estää vaahdolla tai vedellä. Syttymisen estämisen tarve perustuu etanolin ja isopropanolin leimahduslämpötiloihin. Leimahduslämpötilat ovat etanolilla 13 °C ja isopropanolilla 12 °C. Näiden lämpötilojen ylittyessä nesteistä höyrystyy syttymiskelpoisia ilmaseoksia. Välitöntä syttymisvaaraa ei ole nesteen ollessa noin 2 °C tai kylmempää.

Alkoholien leimahduslämpötila nousee, kun alkoholeja laimennetaan vedellä (taulukko12). Vettä saadaan vallitilaan säiliöiden vesivalujärjestelmästä noin 9600 litraa minuutissa. Pienet vuodot voidaan laimentaa työsuihkulla.

Mittaamalla nesteen alkoholipitoisuus (tilavuus-%) varmistutaan laimennuksen riittäväydestä ja poissuljetaan syttymisen mahdollisuus. Vallitsevan ilmanlämpötilan ja nesteen läm-

pötilan on oltava vähintään 10 °C matalampi kuin alkoholin leimahduspiste (mitattu tilavuus-%). Laimennetusta vesialkoholiseoksesta otetaan näyte ja tehtaan henkilökunta analysoi näytteen laboratorio-osastolla.

Vesialkoholiseos voidaan pumpata vallitilasta irtosäiliöihin. Irtosäiliöitä on noin 20 kappaletta. Yhden säiliön tilavuus on noin 1000 litraa. Vesialkoholiseos voidaan pumpata säiliötarhan pumppaamon kautta takaisin vuotamattomiin säiliöihin. Vesi poistetaan alkoholista tislauksessa ja alkoholi palautuu takaisin tuotantoon. Ennen pumppaustoiminnan aloittamista, pitää potentiaalitasaus olla kytkettynä ja alkusammutuskalusto valmiina pumppausalueen läheisyydessä.

### *Suuri syttymätön vuoto*

Vuotanut aine on helposti syttyvää. Säiliötarhassa varastoidaan etanolia ja isopropanolia. Aineiden leimahduspisteet ovat 13 ja 12 °C. Etanoli ja isopropanoli kuuluvat alkoholiryhmään. Tehtaan henkilöstö käyttää usein nimitystä liuotin.

Lammikon halkaisija on 5 - 10 metriä. Vuotaneen aineen määrä on arviolta alle 15 m<sup>3</sup>. Hälytys on voinut tulla vallitilan hiilivetyilmaisesta valvomoon tai henkilökunta on havainnut alkoholin hajua säiliötarhan läheisyydessä. Liekki-ilmaisina ei ole hälyttänyt. Henkilökunta on tehnyt hätäilmoituksen. Tehtävälle tarvittava pelastustoimen resurssi on johtoyksikkö, kaksi sammutusautoa ja säiliöauto.

Välittömän vaaran alue on 50 metriä vallitilan reunasta. Mitataan syttymisvaaramittarilla ja varmistetaan, ettei eristysalueen ulkopuolella esiinny syttymiskelpoisia ilmaseoksia. Suojaustaso paloasu ja paineilmalaitte.

Varmistetaan tehtaan valvomosta, että säiliötarhaan tulevien ja sieltä lähtevien alkoholiputkien venttiilit ovat suljettu sekä pumput sammutettu.

Vaahdosammutuskeskus on miehitettävä tehtaan henkilöstöllä, jotta vallitilan vaahdotus saada nopeasti aloitettua, jos vallitilassa syttyy tulipalo. Palovesipumppaamo on miehitettävä tehtaan henkilöstöllä pumppujen toiminnan varmistamiseksi.

Alkoholilammikon syttyminen voidaan estää vaahdolla tai vedellä. Syttymisen estämisen tarve perustuu etanolin ja isopropanolin leimahduslämpötiloihin. Leimahduslämpötilat ovat



etanolilla 13 °C ja isopropanolilla 12 °C. Näiden lämpötilojen ylittyessä nesteistä höyrystyy syttymiskelpoisia ilmaseoksia. Välitöntä syttymisvaaraa ei ole nesteen ollessa noin 2 °C tai kylmempää.

Alkoholien leimahduslämpötila nousee, kun alkoholeja laimennetaan vedellä (taulukko12). Vettä saadaan vallitilaan säiliöiden vesivalujärjestelmästä noin 9600 litraa minuutissa. Alkoholin vesilaimennus saadaan tehtyä nopeasti avaamalla säiliöiden vesivaleluventtiili. Vesivalelun avulla syttymisvaara saadaan poistettua alle viidessä minuutissa.

Mittaamalla nesteen alkoholipitoisuus (tilavuus-%) varmistutaan laimennuksen riittävydestä ja pois suljetaan syttymisen mahdollisuus. Vallitsevan ilmanlämpötilan ja nesteen lämpötilan on oltava vähintään 10 °C matalampi kuin alkoholin leimahduspiste (mitattu tilavuus-%). Laimennetusta vesialkoholiseoksesta otetaan näyte ja tehtaan henkilökunta analysoi näytteen laboratorio-osastolla.

Pelastusyksiköiden on varauduttava mahdolliseen vallitilapaloon, vaikka vesilaimennus on aloitettu. Vesilaimennuksen aikana tehdään vesitykkiselvitys suolahapposäiliön suojaamiseksi tulipalon lämpösäteilyn vaikutuksilta. Vesitykillä suoritetaan suolahapposäiliön vesivalelu, jos tulipalo syttyy. Tulipalon sammutus suoritetaan palavien nesteiden säiliötarhaan asennetulla vaahtosammutuslaitteistolla. Vaahtoa alkaa muodostumaan vallitilaan noin 30 sekunnin kuluttua vaahtoventtiilin avaamisesta.

Vesialkoholiseos voidaan pumpata vallitilasta irtosäiliöihin. Irtosäiliöitä on noin 20 kappaletta. Yhden säiliön tilavuus on noin 1000 litraa. Vesialkoholiseos voidaan pumpata säiliötarhan pumppaamon kautta takaisin vuotamattomiin säiliöihin. Vesi poistetaan alkoholista tislauksessa ja alkoholi palautuu takaisin tuotantoon. Ennen pumppaustoiminnan aloittamista pitää potentiaalitasaus olla kytkettynä ja alkusammutuskalusto valmiina pumppausalueen läheisyydessä.

### *Koko vallitilan pohjan alueelle levinnyt vuoto*

Vuotanut aine on helposti syttyvää. Säiliötarhassa varastoidaan etanolia ja isopropanolia. Aineiden leimahduspisteet ovat 13 ja 12 °C. Etanoli ja isopropanoli kuuluvat alkoholiryhmään. Tehtaan henkilöstö käyttää usein nimitystä liuotin.

Lammikon koko on noin 600 m<sup>2</sup>. Vuotaneen aineen määrä arviolta 50 - 490 m<sup>3</sup>. Hälytys on voinut tulla vallitilan hiilivetyilmaisimesta valvomoon tai henkilökunta on havainnut alkoholin hajua säiliötarhan läheisyydessä. Liekki-ilmaisina ei ole hälyttänyt. Henkilökunta on tehnyt hätäilmoituksen. Tehtävälle tarvittava pelastustoimen resurssi on johtoyksikkö, kolme sammutusautoa ja säiliöauto.

Välittömän vaaran alue on 50 metriä vallitilan reunasta. Pelastusyksiköt on sijoitettava rakennusten suojaan siten, ettei mahdollisen tulipalon lämpösäteily pääse vaurioittamaan ajoneuvoja.

Mitataan syttymisvaaramittarilla ja varmistetaan, ettei välittömän vaaran alueen ulkopuolella esiinny syttymiskelpoisia ilmaseoksia. Suojaustaso paloasu ja paineilmalaitte.

Varmistetaan tehtaan valvomosta, että säiliötarhaan tulevien ja sieltä lähtevien alkoholiputkien venttiilit on suljettu sekä pumput sammutettu.

Vaahdotetaan vallitila vaahtosammutuslaitteiston avulla. Vaahdotuksen voi lopettaa, kun koko vallitilan alueella on tasainen vaahtopatja. Vaahdotusaika on noin 5 minuuttia. Vaahtoa ei saa päästää vyörymään vallitilan reunan yli. Vaahto valuu sadevesiviemäriin ja kulkeutuu Kuhnamojärveen. Vaahdon kulkeutuminen vesistöön on pyrittävä estämään sulkemalla sadevesikaivot sulkutulpilla.

Palovesipumppaamo on miehitettävä tehtaan henkilöstöllä pumppujen toiminnan varmistamiseksi.

Vaahdotusta on jatkettava, kun vaahtopatja ohenee (vaahdon puoliintumisaika). Vaahtopatjan on oltava ehjä siihen saakka, kunnes vallitila on tyhjennetty alkoholista.

Pelastusyksiköiden on varauduttava mahdolliseen vallitilapaloon, vaikka vallitilan vaahdotus on aloitettu. Vaahdotuksen aikana tehdään vesitykkiselvitys suolahapposäiliön suojaamiseksi tulipalon lämpösäteilyn vaikutuksilta. Vesitykillä valellaan ja jäähdytetään suola-

happosäiliön pintaa, jos tulipalo syttyy. Tulipalo sammutetaan palavien nesteiden säiliötarhaan asennetulla vaahtosammutuslaitteistolla. Vaahtoa alkaa muodostumaan vallitilaan noin 30 sekunnin kuluttua vaahtuventtiilin avaamisesta.

Palavien nesteiden säiliötarhassa on viisi säiliötä, jotka ovat eristämättömiä. Näiden säiliöiden vesivalujärjestelmä on kytkettävä päälle välittömästi tulipalon syttyessä. Säiliöiden sisällä olevan alkoholin höyrystyminen lisääntyy lämpötilan kasvaessa. Alkoholit alkavat kiehumään noin 80 °C:ssa. Säiliön nestepinnan yläpuoli lämpenee nopeasti yli itsesyttymislämpötilan, joka on etanolilla 363 °C ja isopropanolilla 399 °C. Eristämättömien säiliöiden sisävaahdotus on suoritettava välittömästi vallitilapalon syttyessä.

Koko vallitilan alueella palamaan syttynyt alkoholipalo vaurioittaa säiliötarhan ympärillä olevia sähkö- ja putkilinjoja. Näiden linjojen suojausta voidaan yrittää vesiseinien avulla. Vesiseinän koko on oltava niin sanottu 3 tuumaa. Vesiseiniä tarvitaan 3 kappaletta yhdelle säiliötarhan sivulle. Sähkö- ja putkilinjoja kulkee säiliötarhan kolmella sivulla. Kaikkia vesiseiniä ei voida käyttää yhtä aikaa, koska palovesijärjestelmän tuotto ei todennäköisesti riitä.

Alkoholia, jossa on ollut vaahtopatja päällä, ei voi käyttää enää tuotannossa. Alkoholi pitää kuljettaa säiliöautolla tarkoituksen mukaiseen jätteen käsittelypaikkaan. Alkoholi voidaan pumpata pois vallitilasta säiliöauton avulla ja siirtää väliaikaisesti ehjään säiliötarhan säiliöön, jolloin se ei aiheuta enää varaa. Ennen pumppaustoiminnan aloittamista pitää potentiaalitasaus olla kytkettynä ja alkusammutuskalusto valmiina pumppausalueen läheisyydessä.

#### *Tulipalo vallitilassa ja säiliössä*

Vallitilaan on valunut alkoholia ja se on syttynyt palamaan. Alkoholin määrä voi olla 10 - 490 000 litraa. Liekki-ilmaisoin on havainnut tulipalon ja antanut hälytyksen valvomoon. Tulipalon havaitsee henkilökunta, jos hiilivetyilmaisoin ja liekki-ilmaisoin eivät ole reagoineet vuotoon ja tulipaloon. Palamaan syttynyt aine on etanolia tai isopropanolia. Aineiden käyttäytymisessä tulipalossa ei ole merkittävää eroa. Isopropanolilla on noin 10 % isompi paloteho kuin etanolilla. Paloteho vaikuttaa lämpösäteilyn tehosiheyteen. Alkoholipalon lämpötila nousee parissa minuutissa 800 - 1100 °C:seen. Tämän jälkeen lämpötila ja lämpösäteilyintensiteetti eivät muutu, kunnes alkoholi on palanut loppuun tai tulipalo on sammutettu vaahdolla.

Tulipalon lämpösäteilyvaikutus aiheuttaa vaurioita vallitilaa läheisyydessä oleville sähkö- ja putkilinjoille ja suolahapposäiliölle, jos alkoholipalo on koko vallitilan alueella. Suolahapposäiliön hajoaminen aiheuttaa myrkyllisen kaasupilven (kloorivety), joka leviää tuulen mukana useita satoja metrejä. Tehdasalueella työskenteleviä ihmisiä on varoitettava ja vaara-alueelta poistuttava. Myrkyllinen kaasupilvi leviää noin 40 asteen sektorissa tuulen suuntaan.

Tehtävälle tarvittava resurssi on pelastuskomppania muodostelman edellyttämät johto- ja pelastusyksiköt, jos tulipaloa ei saada sammumaan vaahtosammutuslaitteiston avulla alle 10 minuutissa.

Välittömän vaaran alue on 50 metriä ja suoja-alueen raja 100 metriä vallitilan reunasta tuulen yläpuolella. Tuulen alapuolelle ei voi joukkoja sijoittaa suolahapposäiliön hajoamisvaaran takia. Suolahapposäiliön hajotessa vaara-alue tuulen alapuolella on satoja metrejä. Väestöä on varoitettava väestöhälyttimin ja vaaratiedotteella.

Vallitilan ja säiliöiden vaahdotuksen aloittaa mahdollisimman nopeasti tehtaan henkilökunta. Pelastuslaitos avaa säiliöiden vesivaleluventtiilin ja alkaa suojaamaa säiliötarhan ympärillä olevia sähkö- ja putkilinjoja sekä suolahapposäiliötä. Suolahapposäiliön vallitila vaahdotetaan säiliön rikkoutuessa. Vaahto estää kloorivedyn höyrystymistä.

Palavien nesteiden vallitilan vaahdotusta voidaan tehostaa siirrettävällä vaahtotykillä. CP Kelcolla on yksi siirrettävä vaahtotykki sekä vaahdotetta.

Asfalttipihalla olevat sadevesiviemäreiden kannet on tukittava vuodonsulkumatoilla tai sulakutulpilla mahdollisimman nopeasti. Vaahtonesteen pääsy viemäriin on estettävä.

Vaahdotusta on jatkettava, kun vaahtopatja ohenee (vaahdon puoliintumisaika). Vaahtopatjan on oltava ehjä siihen saakka, kunnes vallitila on tyhjennetty alkoholista.

Tulipalon vaikutuksesta kuumentuneen alkoholin on annettava jäähtyä vaahtopatjan alla ennen vallitilan tyhjennystä. Alkoholin höyrystyminen alkaa välittömästi, jos vaahtopatja rikkoutuu. Tehtaan edustajan ja pelastustoiminnan johtajan on tehtävä suunnitelma, mihin vallitilassa oleva alkoholin ja vaahtoliuoksen seos voidaan turvallisesti varastoida ennen lopullista sijoituspaikkaa.

## 7 KEHITYSEHDOTUKSET

Tässä kappaleessa on kehitysehdotuksia, joilla CP Kelco Oy:n Äänekosken tehtaan palavien nesteiden säiliötarhan turvallisuustasoa voidaan parantaa sekä mahdollisen tulipalon seurauksena vaikutuksia vähentää. Taulukossa 15 on lueteltu kaikki kehitysehdotukset. Kehitysehdotukset ovat numeroitu ja kursivoitu, jotta ne erottuvat paremmin tekstistä.

Taulukko 15. Säiliötarhan turvallisuutta lisääviä kehitysehdotuksia

Numero	Kehitysehdotus	Kohta
1	<i>Säiliöihin, joissa ei ole yli- ja alipaineventtiilejä, tulisi asentaa liekinestimenä toimivat verkot tai yli- ja alipaineventtiilit.</i>	7.1
2	<i>Olemassa olevia säiliömerkintöjä tulisi täydentää alkoholien nimillä etanoli ja isopropanoli. Tällöin pelastushenkilöstö tunnistaisi helpommin säiliöiden sisältämän kemikaalin.</i>	7.1
3	<i>Säiliötarhan alue tulisi merkitä EX-tilaluokitusten mukaisesti.</i>	7.1
4	<i>Vallitilan reunuksen päälle voidaan asentaa verkko vaahdon leviämisen estämiseksi pois vallitilasta.</i>	7.1
5	<i>Hiilivetyjen vuodonilmaisimia lisäämällä, parannetaan vuotojen havaitsemiskykyä vallitilassa.</i>	7.2
6	<i>Vallitilan tyhjennyskaivoon voidaan asentaa kiinteä putkiyhde ja sulkuventtiilit, josta vallitilan nesteet voitaisiin imeä suoraan säiliöautoon tai tilapäisastioihin.</i>	7.2
7	<i>Säiliötarhan ympäristöön voidaan asentaa lämpökamerat, joita voidaan ohjata ja niiden tuottamaan kuvaa katsella valvomosta.</i>	7.3
8	<i>Putki- ja sähkölinjat voidaan suojata vesiverhojen tai vesivalelujärjestelmän avulla.</i>	7.3
9	<i>Suolahapposäiliön suojaaminen lämpösäteilyn vaikutuksilta voidaan toteuttaa säiliön vesivalelujärjestelmällä tai vesiverholla.</i>	7.3
10	<i>Vesiverho- tai vesivalelujärjestelmä pitäisi pystyä kytkemään päälle valvomosta, johon liekki-ilmaisin antaa hälytyksen. Venttiilien tulisi olla etäkäyttöisiä.</i>	7.3
11	<i>Eristämättömien säiliöiden vesivalelulaitteistojen vesiventtiili tulisi siirtää paikkaan, jossa tulipalon lämpösäteily ei aiheuta vaaraa ihmisille, jotka operoivat venttiiliä.</i>	7.3

## 7.1 Säiliöt ja niiden merkinnät

Säiliössä, jonka tilavuus on yli 10 kuutiometriä ja siinä varastoidaan 1 luokan palavia nesteitä tai 2 luokan palavaa nestettä, on ilmaputken suuaukko varustettava yli- ja alipaineventtiilillä tai liekinestimellä. (Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös palavista nesteistä 313/1985, 55 §.)

Palavien nesteiden säiliötarhassa on säiliöitä, joiden ilmaputken suuaukko on varustettu yli- ja alipaineventtiilillä. Säiliötarhassa on myös säiliöitä, joissa ilmaputken suuaukolla on metalliverkko, joka ei täytä liekinestimen vaatimuksia. 1) *Säiliöihin, joissa ei ole yli- ja alipaineventtiilejä, tulisi asentaa liekinestimenä toimivat verkot tai yli- ja alipaineventtiilit.*

Säiliöiden merkinnät tulisi tehdä Suomen Standardisoimisliiton (SFS) standardin 5491 mukaisesti. (Valtioneuvoston päätös vaarallisia aineita sisältävistä säiliöistä ja niiden merkinnöistä 421/1989). Merkintä tarkoittaa, että vaarallisen aineen tai kemikaalin nimi on ilmoitettu yleisesti tunnetulla triviaalinimellä tai systemaattisella tieteellisellä nimellä. Triviaalinimi tarkoittaa aineen yleiskielistä nimeä esimerkiksi sprii. Systemaattinen tieteellinen nimi on etanoli tai etyylialkoholi. Vaarallisen aineen tai kemikaalin nimen lisäksi säiliössä pitää olla aineen vaarallisuutta kuvaava varoitusmerkki. Varoitusmerkkejä voi olla useita, jos aineella on useampi vaaraa aiheuttava ominaisuus. Säiliön merkintää voidaan täydentää kemikaalin väkevyydestiedolla. (SFS 5491 2012.)

Samassa säiliössä voi olla useita vaarallisia kemikaaleja, jolloin merkintään voidaan käyttää aineiden ryhmänimeä esimerkiksi alkoholeja (SFS 5491 2012). Säiliöiden merkinnät pitää sijoittaa siten, että ne ovat helposti havaittavissa (SFS 3353 2019).

2) *Olemassa olevia säiliömerkintöjä tulisi täydentää alkoholien nimillä etanoli ja isopropanoli. Tällöin pelastushenkilöstö tunnistaisi helpommin säiliöiden sisältämän kemikaalin.*

Palvien nesteiden säiliötarhan alue on tilaluokiteltu Valtioneuvoston asetuksen räjähdyskehoisten ilmaseosten työntekijöille aiheuttaman vaaran torjunnasta mukaisesti. 3) *Säiliötarhan alue tulisi merkitä EX-tilaluokitusten mukaisesti.*

Kappaleessa 5.6 on tutkittu menetelmää, jolla vaahdon leviämistä pois vallitilasta voidaan estää. Onnettomuustilanteessa, jossa vallitilaan on vuotanut alkoholia suurimman säiliön sisältö, pitää syttyminen estää vaahdottamalla. Vallitilan tulipalotilanteessa vaahdotuksen lisäksi myös säiliöitä pitää suojata lämpösäteilyn vaikutuksilta. Eristämättömien säiliöiden

vesivalelujärjestelmän vesivirtaama on noin 9600 litraa minuutissa. Tällöin vallitilassa ei ole enää todennäköisesti tilaa riittävästi vaahdolle ja vaahtoa pääsee vallitilan ulkopuolelle. Vallitilan alapuolella on sadevesiviemärit, jotka johtavat suoraan Kuhnamojärveen. 4) *Vallitilan reunuksen päälle voidaan asentaa verkko vaahdon leviämisen estämiseksi pois vallitilasta.* Tiheän verkon korkeus voisi olla noin 0,5 metriä ja se voitaisiin kiinnittää olemassa olevaan verkkoaitaan kiinni. Tiheän verkon silmäkoko tulisi olla noin 3 mm.

## 7.2 Vuodon havaitseminen ja hallinta

Palavien nesteiden säiliötarhan vallitilaan on asennettu yksi hiilivetyjen vuodonilmaisimien. Tämän anturin tarkoitus on havaita säiliöistä tai putkistoista vallitaan valuneet alkoholit. Vallitilan brutto koko on noin 800 m<sup>2</sup>. Säiliöiden tai putkistojen vuototilanteessa voi vuoto jäädä havaitsematta, jos kyseessä on pieni vuoto. Pieni vuoto ja hiilivetyanturin sijoittuminen tuulen yläpuolelle voi viivästyttää anturin reagoitua. 5) *Hiilivetyjen vuodonilmaisimia lisäämällä parannetaan vuotojen havaitsemiskykyä vallitilassa.*

Etanoli ja isopropanolivuotojen havaitseminen hiilivetyjen vuodonilmaisimilla on epätodennäköistä, kun alkoholinesteen lämpötila laskee lähelle 0 °C. Tämä johtuu näiden alkoholien leimahduspisteistä, jotka ovat 13 ja 12 °C. Alkoholin höyrystyminen vähenee lämpötilan laskiessa. Syttymisen todennäköisyys on pieni, kun nesteen lämpötila on noin 10 °C leimahduslämpötilan alapuolella (OVA-ohje, käyttäjän opas).

Etsin tämän opinnäytetyön aikana mahdollisia vuodon tunnistamisen keinoja, koska vallitilaan on vuotanut vuonna 2009 noin 18 m<sup>3</sup> alkoholia ja hiilivetyjen vuodonilmaisimien ei reagoi. Vuototilanteen aikana oli ulkoilman lämpötila -20 °C, joten alkoholin höyrystyminen oli vähäistä. Henkilökunta huomasi alkoholilammikon, koska säiliötarhan läheisyydessä oli alkoholin hajua.

Selvitin vuodon havaitsemisen mahdollisuutta hyperspektrintunnistamisen avulla. Otin yhteyttä Jyväskylän yliopiston tutkijaan, joka on tutkinut eri kemikaalien ja kaasujen tunnistamista hyperspektrikameroiden avulla. Kamera mittaa vallitilan pohjalle kertyneestä nesteestä heijastuvan valon intensiteettiä eri aallonpituusalueilla.

Jyväskylän yliopiston tutkijan mukaan suunnitteilla on hanke, jonka yhtenä osana tutkittaisiin eri järjestelmien soveltuvuutta vuodon havaitsemiseen. Toivottavasti hanke etenee testausvaiheeseen, jolloin olisi tärkeää, että CP Kelco Oy olisi aktiivisesti mukana hankkeessa.

Vallitilan tyhjentämistä alkoholista ja vaahtoliuoksesta voidaan kehittää. 6) *Vallitilan tyhjennyskaivoon voidaan asentaa kiinteä putkiyhde ja sulkuventtiilit, josta vallitilan nesteet voitaisiin imeä suoraan säiliöautoon tai tilapäisastioihin.* Säiliöstä vallitilaan vuotaneen kemikaalin tyhjentäminen imuautolla on ohjeiden ja säädösten mukaan mahdollista, jos lasauspaikka varustellaan alkusammutuskalusto- ja maadoitusvälineillä (SFS 3353 2019).

Vallitilan tyhjentämisen pitäisi olla mahdollisuus vuototilanteessa, jossa alkoholia on vuotanut vallitilaan ja sitä on laimennettu vedellä leimahduspisteen nostamiseksi ja syttymisen estämiseksi. Alkoholi-vesiseos voidaan siirtää säiliöautoa tai tilapäisastioita apuna käyttäen takaisin säiliötarhan varastosäiliöihin. Tällöin vuotanut alkoholi saadaan uudestaan tuotantokäyttöön, sitä ei tarvitse kuljettaa pois tehdasalueelta.

Alkoholeja ei voi käyttää enää tuotannossa, jos syttymisen estämiseksi on käytetty sammutusvaahtoa. Sammutusvaahtoa ei saa päästä tuotantoon, ympäristöön eikä Metsä Fibren jätevedenpuhdistamolle. Sammutusvaahtoa sisältävä neste pitää kuljettaa säiliöautolla paikkaan, jossa sitä voidaan käsitellä asianmukaisesti.

### 7.3 Tulipalon vaikutusten hallinta

Palavien nesteiden säiliötarhaan on suunniteltu asennettavan liekki-ilmaisimet, jotka reagoisivat välittömästi tulipalon syttymiseen vallitilassa. Ilmaisimien antamaan hälytykseen tulee reagoida välittömästi. Pitää varmistaa, onko kyseessä tulipalo vai niin sanottu virrehälytys, eli liekkitunnistin on reagoinut esimerkiksi auringon valon heijastumaan. Tuotantolaitoksen valvomossa on henkilökunta paikalla 24/7. Valvomoon tuleviin hälytyksiin voidaan reagoida välittömästi.

Liekki-ilmaisimien antamien hälytysten tarkistaminen voidaan tehdä nopeasti esimerkiksi lämpökameran avulla. 7) *Säiliötarhan ympäristöön voidaan asentaa lämpökamerat, joita voidaan ohjata ja niiden tuottamaan kuvaa katsella valvomosta.* Tämä on nopea tapa varmistaa, onko kyseessä tulipalo. Lämpökamerakuvan perusteella valvomon henkilökunta voi aloittaa tarvittavat toimenpiteet onnettomuuden vahinkojen rajoittamiseksi.



Palavien nesteiden säiliötarhan ympärillä olevat putki- ja sähkölinjat ovat alttiina vallitilan ja säiliöiden tulipalon lämpösäteilylle. Alkoholien standardipalokäyrän (kuva 10.) mukaan, tulipalon liekkien lämpötila nousee yli 800 °C:seen parissa minuutissa. Alkoholipalojen käyttäytymistä on tutkittu allaspalokokeissa. Allaspalokokeissa altaan syttymiseen ja liekkien kasvamiseen kuluu noin 2 minuuttia. Tämän jälkeen liekkien koko ja säteilyintensiteetti pysyvät ennallaan. (Risto Lautkaski, sähköpostiviesti 22.12.2019).

8) *Putki- ja sähkölinjat voidaan suojata vesiverhojen tai vesivalelujärjestelmän avulla.* Vesiverhon veden virtaaman mitoitus en pystynyt selvittämään tässä työssä. Vesiverhoa tehokkaampi tapa suojata putki- ja sähkölinjoja on vesivalelujärjestelmä. Hollannin pelastusopistolla on tehty kirjallisuustutkimus tulipalon leviämisestä rakennuksesta toiseen, jonka mukaan vesiverhot kuluttavat paljon vettä ja jotka vain rajoittavat lämpösäteilyä. Lämpösäteilystä jopa puolet läpäisee vesiverhon. Tähän vaikuttavat pisaroiden koko ja tiheys. Seinien valelu vedellä on tehokkain tapa estää tulipalon leviäminen. Säiliöiden, joihin kohdistuu suora liekkikosketus, vesivalelun mitoitusperuste on 10 litraa minuutissa säiliön vaiipan ja katon yhtä neliometriä kohden ( $1/\text{min}/\text{m}^2$ ). Tämä mitoitusperuste on polttokokeissa saatu arvo  $7,3 \text{ l}/\text{min}/\text{m}^2$  varmuuskertoimella 1,3. (Risto Lautkaski, sähköpostiviesti 22.12.2019.)

Kappaleessa 5.2 on arvioitu tulipalon vaikutusta suolahapposäiliölle. Palavien nesteiden vallitilapalon lämpösäteilyvaikutus sulattaa suolahapposäiliön ja säiliössä oleva kloorivetyhappo höyrystyy muodostaen myrkyllisen kaasupilven. Kaasupilven muodostuminen ja leviäminen tuulen mukana aiheuttaa suuremman vaara-alueen kuin etanoli- tai isopropanoli nesteen vallitilapalo. Onnettomuuden vaikutukset leviävät tehdasalueen ulkopuolelle.

9) *Suolahapposäiliön suojaaminen lämpösäteilyn vaikutuksilta voidaan toteuttaa säiliön vesivalelujärjestelmällä tai vesiverholla.* Säiliön suojaus vesivalelulla toteutettuna nostaa lämpösäteilyn suojaustason taulukon 13. mukaan  $38 \text{ kW}/\text{m}^2$ . Säiliön pinnalle vesivalelun muodostama yhtenäinen vesikalvo pitää säiliön pintalämpötilan alle 90 °C:n, joka ei vahingoita säiliön pintaa.

Putki- ja sähkölinjojen sekä suolahapposäiliön suojaaminen liekkien lämpösäteilyltä pitää aloittaa välittömästi tulipalon syttymisen jälkeen. Nopealla reagointiajalla voidaan tulipalon aiheuttamia vahinkoja vähentää sekä välttää suolahapposäiliön hajoamisesta johtuvat seuraukset. 10) *Vesiverho- tai vesivalelujärjestelmä pitäisi pystyä kytkemään päälle valvo-*

*mosta, johon liekki-ilmaisimien antaa hälytyksen. Venttiilien tulisi olla etäkäyttöisiä. Reagointiaika, jossa käsikäyttöiset vesiventtiilit saadaan avattua, voi olla liian pitkä. Aika koostuu valvomoon reagointiajasta liekki-ilmaisimen antamaan hälytykseen, henkilökunnan hälyttämisestä säiliötarhan alueelle, henkilön siirtymisestä säiliötarhan alueelle tuotantotiloista, vesivalelun venttiilien avaamisesta sekä putkistojen vedellä täyttymiseen kuluvasta ajasta.*

Palavien nesteiden säiliötarhan säiliöille asennettujen vesivalelulaitteistojen vesiventtiili on sijoitettu nykyään lähelle vallitilan reunaa. Etäisyys vallitilan reunasta on noin 16 metriä. Kuvassa 6. on lämpösäteilyarvot suhteessa etäisyyteen vallitilan keskusta nähden. Vesivalelun venttiilin sijainti on noin 25 - 30 metrin etäisyydellä vallitilan keskustasta. Tällä etäisyydellä tulipalon aiheuttama säteilylämpötiheyden arvo on yli  $30 \text{ kW/m}^2$ . Lämpösäteily on niin voimakas, että vesivalelun turvallinen päälle kytkentä ei ole mahdollista ilman suojausihkua, joka vähentää palomiesten altistumisen lämpösäteilylle. Suojausihkun vaatimat letkuserelvitykset vievät aikaa ja resursseja pelastustoiminnan aikana. Tämä viivästyttää säiliöiden vesivalelun aloitusta. 11) *Eristämättömien säiliöiden vesivalelulaitteistojen vesiventtiili tulisi siirtää paikkaan, jossa tulipalon lämpösäteily ei aiheuta vaaraa venttiiliä operoiville ihmisille.* (Laki pelastustoimen laitteista 10/2007, 5 §). Vesivalelun nopea päälle kytkentä edellyttää, että venttiiliä voidaan operoida ilman palolta suojaavia varusteita (paloasu ja paineilmalaitte). Vesivaleluventtiili voi olla myös etäkäytettävä, jolloin sitä voitaisiin operoida valvomosta.

## 8 POHDINTA

Tämä opinnäytetyö, tutkimus ja riskienkartoitus oli haastava ja mielenkiintoinen. Tämän kaltaista, tiettyyn tehtaaseen kohdennettua riskienarviointi- ja kehitystyötä olisi hyvin vaikea tehdä pelkästään kirjallisuustutkimuksena.

Opinnäytetyölle asetettiin kolme päätavoitetta:

Ensimmäinen tavoite oli tutkia palavien nesteiden laajamittaisen teollisen käsittelyn ja varastoinnin vaatimuksia ja velvoitteita. Tutkimus keskittyi etanolin ja isopropanolin varastointiin, vuototilanteisiin ja tulipaloihin CP Kelcon Oy:n Äänekosken tehtaan säiliötarhassa. Toinen tavoite oli selvittää palavien nesteiden säiliötarhassa esiintyviä riskejä, joita etanoli- ja isopropanolivuodot ja mahdollinen tulipalo aiheuttavat sekä löytää kehitysehdotuksia riskien vähentämiseksi. Kolmas tavoite oli tuottaa toimintaohjekortit CP Kelcon työntekijöille ja pelastuslaitokselle. Toimintaohjekortteja voidaan käyttää johtamisen tukena palavien nesteiden säiliötarhassa sattuneissa vuoto- ja tulipalotilanteissa.

Ensimmäinen tavoite täyttyi mielestäni melko hyvin. Laajamittaisen teollisen kemikaalin käsittelyn ja varastoinnin velvoitteita ja vaatimuksia löytyy monesta eri säädöksestä. Minulla oli vaikeuksia selvittää, mitkä ohjeet ja standardit ovat tosiasiallisesti velvoittavia. Lait, asetukset ja niihin rinnastettavat ministeriöiden päätökset olivat minulle haasteellista luettavaa. Jouduin palaamaan useaan kertaan samoihin asioihin, jotta sain sovellettua oikeaa ja ajantasaista tietoa tähän työhön. Näiden säädösten lisäksi minun oli etsittävä lukuisia standardeja, ohjeita ja julkaisuja.

Toisen tavoitteen täyttymistä minun on opinnäytetyön tekijänä vaikea arvioida. Etsin kysymyksiin vastauksia kirjallisuudesta, internetistä, VTT:n tutkimuksista ja sähköpostin välityksellä. Tiedon keräämistä hankaloitti huono englannin kielen osaamiseni. Hiilivetyjen käyttäytymisestä tulipaloissa on kirjoitettu kirjallisuutta, mutta niitä ei ole kirjoitettu suomen kielellä.

CP Kelcon dokumentteja lukiessani huomasin niissä joitakin epäkohtia ja eroavaisuuksia. Esimerkiksi vallitila on merkitty sisäiseen pelastussuunnitelmaan 600 m<sup>2</sup> kokoiseksi. Säiliöalueen suoja-altaan (vallitilan) vaahtosammutusjärjestelmäsunnittelun lähtötiedoissa on vallitila merkitty 647 m<sup>2</sup> kokoiseksi. Occupied Buildings Risk Assessment-dokumenttiin (OBRA 2016) on vallitilan koko merkitty 708 m<sup>2</sup> kokoiseksi.

Eroavaisuudet ovat mielestäni kohtuullisen suuria, kun arvioidaan kohteen paloturvallisuutta. Vaahtosammutuslaitteiston suunnittelu pitäisi tehdä oikean suuruiseen neliömäärään perustuen, jotta laitteiston mitoitus olisi riittävän suuri ja sen sammutusvaikutus olisi tehokas.

Sovimme tehtaan edustajan kanssa, että tässä työssä käytetään sisäiseen pelastussuunnitelmaan merkittyä vallitilan kokoa. Vaahtoliuoslaskelmani ovat tehty 600 m<sup>2</sup> arvolle. En ole mitannut vallitan kokoa, joten en arvio tässä työssä minkä dokumentin neliömäärä on lähimpänä totuutta. Halusin vain tuoda esille asian tässä työssä, koska palavien nesteiden sammuttamiseen tarvittavan vaahtoliuosmäärän laskemiseen tarvitaan kaksi arvoa. Nämä arvot ovat standardista saatava arvo, kuinka monta litraa minuutissa neliömetriä kohden vaahtoliuosta tarvitaan sekä palavan lammikon tai vallitilan neliömäärä.

Opin paljon uusia asioita etanolin ja isopropanolin ominaisuuksista sekä niiden vuoto- ja tulipalo onnettomuuksien torjunnasta. Risto Lautkaski antoi asiantuntija-apua sähköpostin välityksellä. Sain häneltä arvokasta tietoa lämpösäteilyn vaikutuksista suolahapposäiliöön ja miten kloorivety höyrystyy suolahaposta. Minulla oli jo ennen opinnäytetyön aloittamista käsitys, että suolahapposäiliö hajoaa alkoholin vallitilapalon lämpösäteilyn seurauksena. Lautkaski vahvisti asian ja selvensi tapahtumien kulkua minulle. Kaikki Lautkaskilta saatu tieto ei päätynyt tähän opinnäytetyöhön, koska tämän työn laajuus olisi kasvanut liian suureksi.

Tavoitteena oli löytää keinoja, joilla palavien nesteiden säiliötarhan riskejä saataisiin hallittua nykyistä paremmin. Kappaleessa 7 olen kirjoittanut kehitysehdotuksia yhteensä 11 kappaletta, joilla minun mielestäni on riskejä ja tulipalon seurauksia vähentävä vaikutus. Olen yrittänyt perustella kehitysehdotukseni käytännön esimerkein. Joihinkin ehdotuksiin löytyy myös säädöseruste. Nämä 11 kehitysehdotusta ovat mielestäni tämän työn tärkeimpiä tuloksia. Kehitysehdotukset jakautuivat säiliöihin liittyviin asioihin, alkoholivuotojen hallintaan ja vallitilassa syttyneen tulipalon vaikutusten hallintaan.

Kolmas tavoite oli kirjoittaa toimintaohjekortit CP Kelcon henkilökunnalla sekä pelastuslaitokselle. Opinnäytetyötä tehdessäni kävin useita kertoja tehtaan alueella. Haastattelin henkilöitä, joilla on käytännön kokemusta erilaisten ohjekorttien tekemisestä tuotantoprosessiin. Käytössä olevat kortit sisälsivät paljon kuvia prosessitiloista ja laitteista. En voinut tehdä toimintaohjekorteista kuvallisia, koska niitä ei olisi voinut julkaista. Sovimme, että kirjoitan

tekstimuotoon asioita, jotka mielestäni pitää ottaa huomioon lopullisissa toimintaohjekorteissa.

Toimintaohjekorttien tekeminen oli osittain tekstin kopioimista kortista toiseen, mutta jokainen kortti on kuitenkin erilainen sisällöltään. Pohdin erilaisten onnettomuusskenaarioiden mahdollisuutta ja sitä, miten niihin voisi varautua. Huomioni kiinnittyi suolahaposta höyrystyvän kloorivetykilven vaara-alueen mittaamiseen. Keski-Suomen pelastuslaitoksella ei ole kloorivetyanturia nykyisissä monikaasumittareissa. Mittaus on suoritettava ampullimittauksella, joka on hyvä ja luotettava mittaustapa. Kloorivedyn mittausampulleja pitäisi olla useita, jotta vaara-alueen raja voitaisiin määritellä suhteellisen tarkasti tuulen alapuolella. Tehdasalueen lähistöllä ovat esimerkiksi Äänekosken terveyskeskus, lukio, vanhainkoti sekä Piilolan- ja pukkimäen asuinalueet. Mittaukseen perustuva vaara-alueen koko auttaisi pelastustoiminnan johtajaa resurssien jakamisessa eri vastuualueille.

Tämä tutkimus antoi vastauksen, millä tavoin alkoholilammikko saadaan vaarattomaksi nopeasti ja mahdollisimman turvallisesti. Mielestäni alle 20 m<sup>3</sup> vuodot saadaan turvallisesti vaarattomaksi vesilaimennuksella, koska säiliöiden vesivalelujärjestelmän vesivirtaama on noin 9600 litraa minuutissa. Laimentamalla alkoholia vedellä saadaan seoksen leimahduspistettä nostettua, jolloin syttymisvaara pienenee.

Esitin tässä työssä myös kehitysehdotuksen, miten alkoholilammikon tulipalo havaitaan mahdollisimman nopeasti. Liekki-ilmaisimen antamaan hälytykseen pitää reagoida välittömästi. Kirkas auringonvalo voi estää havaitsemasta alkoholipaloa säiliötarhassa tehtaan valvontakameroiden avulla. Kamerajärjestelmää voisi täydentää lämpökameralla, jolloin liekin aiheuttama lämpö olisi helposti havaittavissa.

Esitin Johdanto-luvussa kysymyksen, mistä määräytyvät suunnitteluperusteet vaahtosammutuslaitteistolle. Sain käsityksen suunnittelua ohjaavista säädöksistä ja standardeista, joiden perusteella vaahtosammutuslaitteistot tulee suunnitella ja toteuttaa. Toivottavasti osasin kirjoittaa määräytymisperusteet tavalla, joka selvittää sen myös työni lukijoille.

Kuinka nopeasti tulipalo pitäisi saada sammumaan, jotta se ei aiheuttaisi laitteistojen ja säiliöiden rikkoutumisia? Tähän kysymykseen en saanut vastausta tämän tutkimuksen aikana. Kysymykseen vastaaminen vaatisi vielä syvällisempää tutkimista. Tämä opinnäytetyö osoittautui laajemmaksi kuin opinnäytetyön suunnitelmassa olin suunnitellut. Tavoitteena oli noin 60 sivun laajuinen opinnäytetyö.

## LÄHTEET

Andsten, T. 2001. *Käsisammuttimien käyttö ruokaöljypalojen sammutuksessa Kirjallisuustutkimus*. VTT tiedotteita 2093. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Espoo.

CP Kelco, Säiliötarhan tilaluokitus 2015. *Säiliötarha tilaluokitus hazard areaclassification*. Pdf-dokumentti. CP Kelco Oy. Äänekoski.

DSV 2020. *Vaarallisten aineiden kuljetus Luokka 3 – palavat nesteet*. 1.1.2020. [www.fi.dsv.com/road-transport/dangerous-goods/The-9-Classes-of-Dangerous-Goods/Class-3-Flammable-liquids](http://www.fi.dsv.com/road-transport/dangerous-goods/The-9-Classes-of-Dangerous-Goods/Class-3-Flammable-liquids).

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1272/2008. [www.eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008R1272&from=FI](http://www.eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008R1272&from=FI)) 2.6.2 Luokituskriteerit.

FK - CEA 4001: 2007. *Sprinklerilaitteistot Suunnittelu ja asentaminen FK - CEA 4001: 2007-06*. Comité Européen des Assurances. Bryssel. Belgium.

Hyttinen, V., Tolonen, P. ja Väisänen, T. 2008. *Palofysiikka*. 3., uusittu painos. Pelastusopisto. Kuopio.

ICSC 0044. 2018. *International Chemical Safety Cards*. International Labour Organization. [www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.listcards3?p\\_lang=fi](http://www.ilo.org/dyn/icsc/showcard.listcards3?p_lang=fi)

Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös palavista nesteistä 313/1985.

Koskenkari, M. 2018. *Risk survey report property and Business Interruption J.M Huber Corporation, CP Kelco Oy, Äänekoski plant*. If P&C Insurance Company Ltd. Espoo.

Laki pelastustoimen laitteista 10/2007.

Laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta 390/2005.

Lämpöoppi 2020. *Sulamis- ja kiehumispisteeseen vaikuttavia tekijöitä*. Peda.net. Joensuu. 1.1.2020. [www.peda.net/joensuu/ylakoulut/pielisjoen-koulu/oppiaineet/fysiikka-ja-kemia/7-luokat/7e/efysiikka-8/1omstve/sjkvt](http://www.peda.net/joensuu/ylakoulut/pielisjoen-koulu/oppiaineet/fysiikka-ja-kemia/7-luokat/7e/efysiikka-8/1omstve/sjkvt).

Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999.

Mecklenburgh, J. C. 1985. *Process plant layout*. George Godwin. London. United Kingdom.

NFPA 11. 2016. *Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam*. National Fire Association. Quincy, Massachusetts. United States.

OBRA 2016. *Occupied Buildings Risk Assessment for CP Kelco Aankoski Site*. Pdf-dokumentti. Simon Gakhar. Chilworth a Dekra company. Southampton. United Kingdom.

OVA ohje, käyttäjän opas. *Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet -turvallisuusohjeet*. Työterveyslaitos. Helsinki. [www.ttl.fi/ova/kaytop.htm](http://www.ttl.fi/ova/kaytop.htm)).

OVA-ohje, etanoli. *Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet -turvallisuusohjeet*. Työterveyslaitos. Helsinki. [www.ttl.fi/ova/etanoli.html](http://www.ttl.fi/ova/etanoli.html).

OVA-ohje, isopropanoli. *Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet -turvallisuusohjeet*. Työterveyslaitos. Helsinki. [www.ttl.fi/ova/isopropanoli.html](http://www.ttl.fi/ova/isopropanoli.html).

Pekkanen, M. 2010. *CP Kelco Oy Säiliöaluepalojen säteilyintensiteetti*. Pdf-dokumentti. Neste Jacobs Oy. Porvoo.

Pelastuslaki 379/2011.

Rantala, A. 2017. *Säännöt* Pdf-dokumentti. Firecon Group Oy. Lahti.

SFS 3350 2019. *Standardi Palavien nestemäisten kemikaalien varastopaikka ja siellä olevat kemikaalien käsittelypaikat*. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki.

SFS 3353 2019. *Standardi Palavien kemikaalien tuotantolaitos*. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki.

SFS 3357 2017. *Standardi palavien nestemäisten kemikaalien varaston sammutus- ja palontorjuntakalusto*. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki.

SFS-EN 12845 + AC 2015. *Standardi Kiinteät palonsammutusjärjestelmät. Automaattisetsprinklerilaitteistot. Suunnittelu, asennus ja huolto*. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki.

SFS-EN 13565-1. 2019. *Standardi Fixed firefighting systems. Foam systems. Part 1: Requirements and test methods for components*. Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Helsinki.

Sikanen, T. 2017. *Tuotantolaitoksen aiheuttaman onnettomuusvaaran arviointi*. Palotutkimuksen päivät 2017. VTT. Helsinki. <http://www.spek.fi/loader.aspx?id=83944647-abdc-4ae4-9658-09c2864c9ab1>.

Sisäasiainministeriön asetus automaattisista sammutuslaitteistoista SM-1999-967/Tu-33.

SPS 2015. *Sisäinen pelastussuunnitelma. CP Kelco Oy Äänekosken tehdas*. CP Kelco Oy. Äänekoski.

Tehdasesitys 2018. *CP Kelco Äänekosken CMC tehdas*. PowerPoint esitys. CP Kelco Oy. Äänekoski.

Tirroniemi, M. 2018. *Seveso-harjoitusprosessin kehittäminen*. Opinnäytetyö. Lapin ammatikorkeakoulu. Rovaniemi.

Tokeva 2020. *Torjuntaohjeet kemikaalien ja muiden vaarallisten aineiden vaaratilanteille*. Pelastusopisto. Kuopio. [www.tokeva.fi](http://www.tokeva.fi).

Tukes Atex. 2017. *ATEX-starttipaketti-2017*. Pdf-dokumentti. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Helsinki. [www.tukes.fi/documents/5470659/8293726/ATEX-starttipaketti-2017.pdf](http://www.tukes.fi/documents/5470659/8293726/ATEX-starttipaketti-2017.pdf).

Tukes standardiluettelo. 2019. *Vaarallisten kemikaalien säiliöitä, laitteita ja käyttöä koskevat standardit*. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Helsinki. [www.tukes.fi/documents/5470659/8178747/vaarallisten-kemikaalien-sailioita-laitteita-ja-kayttoa-koskevat-standardit.pdf](http://www.tukes.fi/documents/5470659/8178747/vaarallisten-kemikaalien-sailioita-laitteita-ja-kayttoa-koskevat-standardit.pdf).

Tukes-ohje Sisäinen pelastussuunnitelma. 2019. *Tukes-ohje 8/2015 Sisäinen pelastussuunnitelma*. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Helsinki. [www.tukes.fi/documents/5470659/6406815/Tukes-ohje++Sisäinen+pelastussuunnitelma](http://www.tukes.fi/documents/5470659/6406815/Tukes-ohje++Sisäinen+pelastussuunnitelma).

Tukes-opas Vaaralliset kemikaalit teollisuudessa. 2015. *Tukes-opas Vaaralliset kemikaalit teollisuudessa*. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. Helsinki. [www.tukes.fi/documents/5470659/6406815/Vaaralliset+kemikaalit+teollisuudessa](http://www.tukes.fi/documents/5470659/6406815/Vaaralliset+kemikaalit+teollisuudessa).

Työturvallisuuslaki 299/1958.

Työturvallisuuslaki 738/2002.

Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalin teollisen käsittelyn ja varastoinnin turvallisuusvaatimuksista 856/2012.



Valtioneuvoston asetus vaarallisten kemikaalien käsittelyn ja varastoinnin valvonnasta 685/2015.

Valtioneuvoston asetus räjähdyskelpoisten ilmaseosten työntekijöille aiheuttaman vaaran torjunnasta 576/2003.

Valtioneuvoston päätös vaarallisia aineita sisältävistä säiliöistä ja niiden merkinnöistä 421/1989.

Viljanen, V. 2012. *Viskositeettimittausten hyödyntäminen bioetanolitehtaan suunnittelussa*. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Pori.

Vilikka, K. 2016. *Sprinklerilaitteet Säiliöalueen suoja-altaan, kemikaalisäiliöiden ja autopurkupaikan vaahtosuojaus Tekninen erittely CP Kelco Oy Äänekoski*. Pdf-dokumentti. Etteplan. Vantaa.

Wipf, H., K., Schmid, J. 1983. *Seveso — An Environmental Assessment*. Givaudan Research Company Ltd. Dubendorf. Switzerland.

## LIITTEET

### Liite 1.

#### Testi 1.

Vaahdotusväline

LEADER UPRIM MX VAAHDONKEHITIN

Työjohdon paine

8,8 bar

Vaahdote

MOUSSOL®-APS LV 1x1 AFFF-AR FOAM

Vaahtoliuos 1 %

Verkon silmäkoko	10 mm	8 mm	3 mm	1,5 mm	0,8 mm
Vaahdotus vallitilan pohjalle, josta vaahdon siirtäminen verkon päälle lumilapiolla					
vaahto läpäisee verkon (sekuntia)	< 10 sekuntia	< 10 sekuntia	20 sekuntia (läpäisee vähän)	ei läpäise	ei läpäise
Testin aloituksesta kulunut aika 16 min 20 sekuntia	ei vaahtoa verkon päällä	ei vaahtoa verkon päällä	vaahtopatja ehjä	vaahtopatja ehjä	vaahtopatja ehjä
Uusi vaahdotus vaahdonkehittimellä suoraan verkkojen päälle					
vaahto läpäisee verkon (sekuntia)	< 10 sekuntia	< 10 sekuntia	läpäisee vähän	ei läpäise	ei läpäise
Testi lopetetaan 21 minuuttia vaahdotuksen aloittamisesta	ei vaahtoa verkon päällä	ei vaahtoa verkon päällä	vaahtopatja ehjä	vaahtopatja ehjä	vaahtopatja ehjä

## Liite 2.

**Testi 2.**

Vaahdotusväline

LEADER UPRIM MX VAAHDONKEHITIN

Työjohdon paine

8,8 bar

Vaahdote

BIO FILMOPOL 3 AFFF-AR FOAM

Vahtoliuos 3 %

Verkon silmäkoko	10 mm	8 mm	3 mm	1,5 mm	0,8 mm
Vaahdotus vaahdonkehittimellä suoraan verkkojen päälle					
vaahto läpäisee verkon	< 10 sekuntia	< 10 sekuntia	210 sekuntia (läpäisee vähän)	ei läpäise	ei läpäise
Testi lopetetaan 50 minuuttia vaahdotuksen aloittamisesta	ei vaahtoa verkon päällä	ei vaahtoa verkon päällä	vaahtopatja ehjä	vaahtopatja ehjä	vaahtopatja ehjä